الصخور والفلزات

الهندسة البترولية – السنة الثانية

د. عبد الكريم العبد الله

مقدمة:

طبيعة الفلزات والصخور:

يمكننا أن ننظر إلى الفلزات – بصفة عامة – على أنها المواد التي تتكون منها صخور القشرة الأرضية، وعلى هذا الأساس تعتبر الفلزات أهم صلة طبيعية متيسرة بين أيدينا لمعرفة تاريخ الأرض. وأول ما يقوم به جيولوجي الفلزات في هذه الوظيفة هو دراسة خواص الفلزات (بلورية، فيزيائية، كيميائية) ونشأتها، وعلاقتها الزمانية والتسلسل الزمني لتكونها أو ما نسميه بالنشأة التتابعية. إن معظم أنواع الصخور تتكون من مخاليط فلزات عدة، ولكن قلة من الصخور، مثل الحجر الكلسي تتكون أساسا من فلز واحد. والغالبية العظمى من الفلزات توجد في الطبيعة مكونة الصخور المختلفة، أما الباقي فيوجد في الطبيعة مكونا العروق ومالئاً الفجوات، ومعظم فلزات هذا النوع الأخير من الظهور والتواجد في الطبيعة ذو فائدة اقتصادية، وتعرف هذه الفلزات باسم الخاماتOres ، ومنها استخرج الفلزات المختلفة التي تستفيد الحضارة البشرية منها. إن لفظ "فلز" محصور في المواد التي توجد وتتكون في الطبيعة. فمثلا الصلب والأسمنت والزجاج ولو أنها مواد ناتجة من وحدات فلزية توجد في الطبيعة، إلا أنه لا تعتبر فلزات لأن الإنسان قام بتجهيزها، وكذلك الحال بالنسبة لجوهرة صناعية مثل الياقوت، فلو أنها تشابه تماما جوهرة الياقوت الطبيعية كيميائيا وفيزيائيا إلا أنه لا تعتبر فلزا. ولا يدخل في اختصاص جيولوجي الفلزات تلك المواد الناتجة من النشاط الحيواني والنباتي مثل الفحم وزيت البترول والكهرمان الخ، ولو أن هذه المواد توجد طبيعيا في القشرة الأرضية. فاللؤلؤ والصدفة ولو أنهما يشبهان تماما فلزي الأراغونيتAragonite ، الكالسيتCalcite ، إلا أنهما لا ينتظمان تحت صنف الفلزات.

هذا بالنسبة لجيولوجي الفلزات. ولكن الجيولوجي الاقتصادي لا يتقيد بهذا التحديد فعندما يتكلم عن الثروات الفلزية لبلد ما فإنه يشمل البترول والفحم وكلاهما منتجات عضوية. فالفلز لابد أن يكون عنصرا أو مركبا كيميائيا، أي لابد أن نكون قادرين على التعبير عن التركيب الكيميائي للفلز بواسطة قانون كيميائي. وعلى ذلك نجد أن التركيب الكيميائي للفلز المكون من عدة عناصر يمكن التعبير عنه بصيغة تتحدد فيه العناصر بنسب ثابتة. فمثلا في الفلز الشائع العروف باسم كوارتز Quartzنجد أن النسبة هي 1 ذرة سليكون إلى 2 ذرة أكسجين، وينتج عنها SiO_2 وكذلك الحالة بالنسبة لفلز خام الحديد المعروف باسم هيماتيت Hematite نجد Fe_2O_3 يدل على أن النسبة هي 2 ذرة حديد إلى 3 ذرة أكسجين. وهذه النسب ثابتة لا تتغير مهما تغير المكان الذي نجد في الكوارتز أو الهيماتيت.

وعلى ذلك يمكننا تعريف الفلز بأنه **كل مادة صلبة متجانسة تكونت بفعل عوامل طبيعية غير عضوية وله تركيب كيميائي محدود ونظام بلوري مميز.**



بلورات نقية لمعدن الكوارتز

التركيب الكيميائي للقشرة الأرضية:

قام الجيولوجيون بجمع عينات كثيرة لأنواع مختلفة من الصخور ومن مناطق متعددة على سطح الأرض، ثم قاموا بعد ذلك بتحليلها بغية الوصول إلى معرفة تركيبها الكيميائي، ومن هذه التحاليل توصلوا إلى معرفة متوسط التركيب الكيميائي للجزء الخارجي من الغلاف اليابس للكرة الأرضية كما هو مبين في الجدول 1.

أكسجين	٤٦.٧١%
سيليكوم	٢٧.٦٩
ألمنيوم	٨.٠٧
حديد	٥.٠٥
كالسيوم	٣.٦٥
صوديوم	٢.٦٥
بوتاسيوم	٢.٥٨
مغنسيوم	٢.٠٨
تيتانيوم	٠.٦٢
إيدروجين	٠.١٤
المجموع	٩٩.٢٤

جدول (1): متوسط التركيب الكيميائي للقشرة الأرضية

ومن هذا الجدول يتضح لنا حقيقتان هامتان:

أولا: أن ثمانية عناصر فقط من بين الاثنين وتسعين عنصرا الموجودة في الطبيعة تكون حوالي 99 في المائة بالوزن من تركيب القشرة الأرضية، وأن بقية العناصر ومن بينها الذهب والفضة والنحاس والرصاص والزنك تكون فقط واحد في المائة بالوزن من تركيب القشرة الأرضية.

ثانيا: إن الأكسجين هو أكثر العناصر الثمانية انتشارا على الاطلاق، ولكن هذا لا يعني أن الأكسجين حر طليق في القشرة الأرضية، ولكنه في الواقع مرتبط ارتباط كيميائيا في الصخور المختلفة، وكذلك الحالة بالنسبة للعناصر السبعة الأخرى، فهي لا توجد بحالتها العنصرية في هذه الصخور، ولكنها جميعا توجد متحدة ومرتبطة بطريقة أو بأخرى لتكون ما يعرف باسم المركبات الكيميائية.

وتتحد هذه العناصر السبعة مع الأكسجين لتولد الأكاسيد. ويمكن اعتبار الأكسيد وحدة كيميائية أساسية. ويتفاعل أكسيد السليكون مع الأكاسيد الفلزية. فمثلا اذا اتحد أكسيد المغنزيوم كيميائيا مع أكسيد السليكون، فإنه ينتج عن ذلك مركب كيميائي يعرف باسم سليكات الماغنيزيوم. وهذا المركب الناتج هو أحد المركبات التي تتكون بواسطة الطبيعة في جوف الأرض وفي ظروف من الضغط والحرارة مختلفة تماما عما يحدث على سطح الأرض. وفي العادة يتحد أكثر من أكسيد فلزي مع أكسيد السليكون لتكوين سليكات ثنائية أو ثلاثية أو أكثر تعقيدا عن ذلك مثل سليكات الألومنيوم والبوتاسيوم.



$$K_2O + AL_2O_3 + 6\ SIO_2 = 2\ KALSI_3O_8$$

هذه السليكات وغيرها من المركبات الكيميائية التي توجد في الطبيعة وتكونت بفعل الطبيعة هي ما نسميها بالفلزات، وهي التي تدخل في تركيب الصخور المختلفة التي تكون القشرة الأرضية والغلاف الصلب. وهناك بعض العناصر تكون فلزات بمفردها، مثل الذهب والنحاس والكبريت والكربون. إن هذه الفلزات توجد في الطبيعة مكونة من عنصر واحد فقط، بدلا من أن تكون مركبا كيميائيا، ولذلك فإنها تعرف باسم الفلزات العنصرية Native Minirale ومن أمثلتها فلزات الذهب والنحاس والكبريت والألماس والجرافيت.

ويتميز كل من هذه الفلزات سواء أكان مركبا أم عنصراً بأن ذراته المكونة له توجد مرتبة في نظام هندسي، أو بمعنى آخر يتميز الفلز بكونه متبلورا، أي يوجد في هيئة بلورات. وفي كثير من الأحيان لا يوجد الفلز بمفرده في الطبيعة، ولكنه يوجد مختلطا مع فلز آخر أو أكثر، وينتج عن ذلك تراكب من عدة فلزات. مثل هذا التراكب الطبيعي من فلزات مختلفة هو ما يعرف باسم صخر.

دورة الصخور



جيمس هاتون أول من اقترح مبدأ دورة الصخور

إن منشأ واصل الصخور يعود إلى الصهير الصخري (اللافا) التي تندفع من باطن الأرض نحو السطح ويبرد ويتصلب مكون صخور نارية وقد يحدث ذلك في أعماق الأرض أو على السطح بعد انفجار البراكين

وعندما تتكشف الصخور النارية فوق سطح الأرض فإنها تتعرض لعمليات التجوية والتعرية التي تعمل على تفتيتها وتحللها مع الزمن ثم تنقلها بعيدا عن منشأها الأصلي

بعد ذلك تتراكم الرواسب في صورة طبقات أفقية سواء كان في البحر أو البر والبحيرات أو السبخات ثم تضغط الرواسب على بعضها البعض وتلتحم مع بعضا البعض مكونة الصخور الرسوبية



الصخور الرسوبية والنارية قد تتعرض لضغط شديد وحرارة عالية وتتحول إلى صخر متحول وهذا الصخر المتحول من الممكن أن يتعرض لضغط شديد وحرارة ليتحول لصخر ناري.



الخواص البلورية للفلزات:

<u>البلورة هي عبارة عن جسم صلب متجانس يحده أسطح مستوية تكونت بفعل عوامل طبيعية تحت ظروف مناسبة من الضغط والحرارة.</u> والأسطح المستوية التي تحدد البلورة تعرف باسم أوجه البلورات. والأوجه البلورية في الحقيقة هي تعبير وإظهار للترتيب الذري الداخلي للمادة المتبلورة. والعملية التي تنتج لنا بلورات تعرف باسم عملية التبلور، وهي عملية تحدث أمام أعيننا إذا تبخر ماء البحر أو المحاليل المشبعة، أو برد مصهور ببطء أو تكثف غاز إلى الحالة الصلبة مباشرة. وفي البلاد الباردة يتجمد ماء المطر بسبب انخفاض درجة الحرارة وتتكون بلورات الثلج سداسية الشكل. فإذا فحصنا أي بلورة منفردة من هذه البلورات الناتج نجد أن التي نمت بحرية دون عائق يحد من حريتها في النمو، لها أسطح مستوية أو أوجه، تكونت طبيعيا أثناء نمو البلورة.



ويمكن تقسيم البلورات حسب إستكمال الأوجه البلورية إلى ثلاثة أقسام:

1- بلورات كاملة الأوجه وذلك حينما تكون جميع الأوجه البلورية موجودة.

2- ناقصة الأوجه، وذلك حينما يكون جزء من الأوجه متكون فقط والباقي غير موجود.

3- عديمة الأوجه، وفي هذه الحالة يكون المادة المتبلورة عبارة عن حبيبات لا يحدها أوجه بلورية، وغالبا ما توجد هذه الحبيبات في هيئة مجموعات.

وتشترك هذه الأنواع الثلاثة (كاملة الأوجه – ناقصة الأوجه – عديمة الأوجه)، في أن لها بناءا ذريا داخليا منتظما. أو بمعنى آخر أن المواد المكونة لها سواء أكانت ذرات أم أيونات ، توجد مرتبة في نظام هندسي. وعلى هذا الأساس يتبين لنا أنه ليس من الضروري بتاتا ان نجد الأوجه البلورية تحد المادة المتبلورة، إذ أن تكون هذه الأوجه رهن بالظروف المحيطة بالمادة المتبلورة أثناء عملية التبلور. وعلى ذلك فإننا نعرف كل مادة صلبة ذات بناء ذري داخلي منظم باسم مادة متبلورة، فإذا كانت هذه المادة المتبلورة ذات أوجه طبيعية مرتبة في نظام هندسي، ويمكن رؤية هذه الأوجه بواسطة العين المجردة، أو عدسة مكبرة، سميت باسم بلورة.

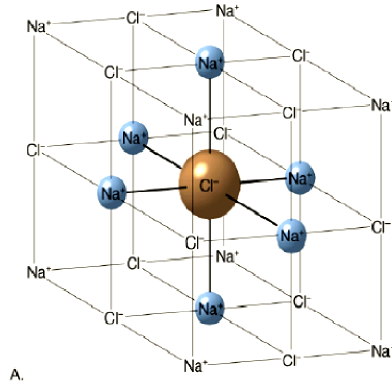


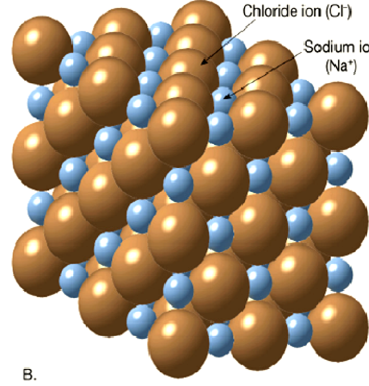
أما إذا كانت المادة ينقصها البناء الذري الداخلي المنتظم فتوصف بأنها مادة غير متبلورة، وتكون الفلزات غير المتبلورة في المملكة الفلزية قلة (وتعتبر استثناء وليست قاعدة إذا التزمنا بالتعريف الحرفي للفلز الذي يتضمن أن المعدة مادة متبلورة)، ومن أمثل الفلزات غير المتبلورة الأوبال Opal ($SiO_2 . nH_2O$). ولما كان البناء الذري في مثل هذه المواد غيرالمتبلورة غير منتظم فإننا نجد أن تركيبها الكيميائي غير ثابت. وبالتالي لا يعبر عنه بصيغة كيميائية. فمثلا تتراوح نسبة الماء في فلز الأوبال ما بين 6، 9 بالمائة وقد تصل إلى 20 بالمائة من وزن الفلز.

ومن هذا يتضح لنا أن الفرق بين المادة المتبلورة وغير المتبلوة يكون في البناء الداخلي وفإذا كانت الذرات مرتبة في نظام معين فالمادة متبلورة، أما إذا لم تكن كذلك، أي أن الذرات غير مرتبة، فالمادة اذن غير متبلورة. وعندما لا توجد أوجه بلورية، فإنه لا يمكن التفرقة بين المادة المتبلورة وغير المتبلورة إلا بواسطة استعمال الميكروسكوب المستقطب وفي بعض الأحياء الأشعة السينية.

البناء الداخلي للبلورات

تتميز المواد المتبلورة بحقيقة أساسية هي الترتيب المنتظم للذرات والأيونات التي تتكون منها. وعلى هذا الأساس يجب أن نتصور البلورة كبنيان يتكون من وحدات غاية في الدقة تتكرر بانتظام في الأبعاد الثلاثة. وأساس البناء البلوري هو التكرار. وتترتب هذه الوحدات المتشابهة عن نقاط منتظمة في الأبعاد الثلاثة بطريقة تجعل كل نقطة لها نفس الظروف المحيطة بالنقاط الأخرى، وبتحديد هذا الترتيب بواسطة اتجاهاته الثلاثة والمسافات التي تتكرر عندها النقاط في هذه الاتجاهات.





يحدث التبلور بالطرق التالية:

1- التبلور من الحالة الغازية: مثل الكبريت و أكاسيد البور من غازات البراكين

2- التبلور من الحالة السائلة: 1-من المصاهر(الماغما) و 2-من المحاليل السائلة المشبعة

3-التبلور من الحالة الصلبة: وتتضمن إعادة تبلور البلورات السابقة ومن تبلور من مادة غير متبلورة

صفات البلورات:

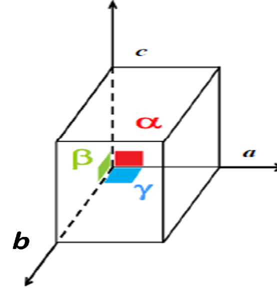
1-عدم تماثل المناحي
2-القدرة الذاتية على تشكيل الأوجه البلورية
3-التناظر

المنظومات البلورية Crystallographic systems :

البلورة بنيان متكامل مؤلف من وحدات منتظمة ومتكررة في الأبعاد الثلاث (عدد لا متناهي من متوازيات السطوح الحجمية المتماثلة بالشكل والمتساوية بالمقاييس). وهذه الوحدات تدعى الخلية البلورية الأولية.

الخلية البلورية الأولية: هي متوازي سطوح حجمي أولي تتوضع في رؤوسه عقد الشبكة الفراغية (حيث تتوضع الذرات والجزيئات) و تتكون من تكراره في جميع الاتجاهات الشبكة

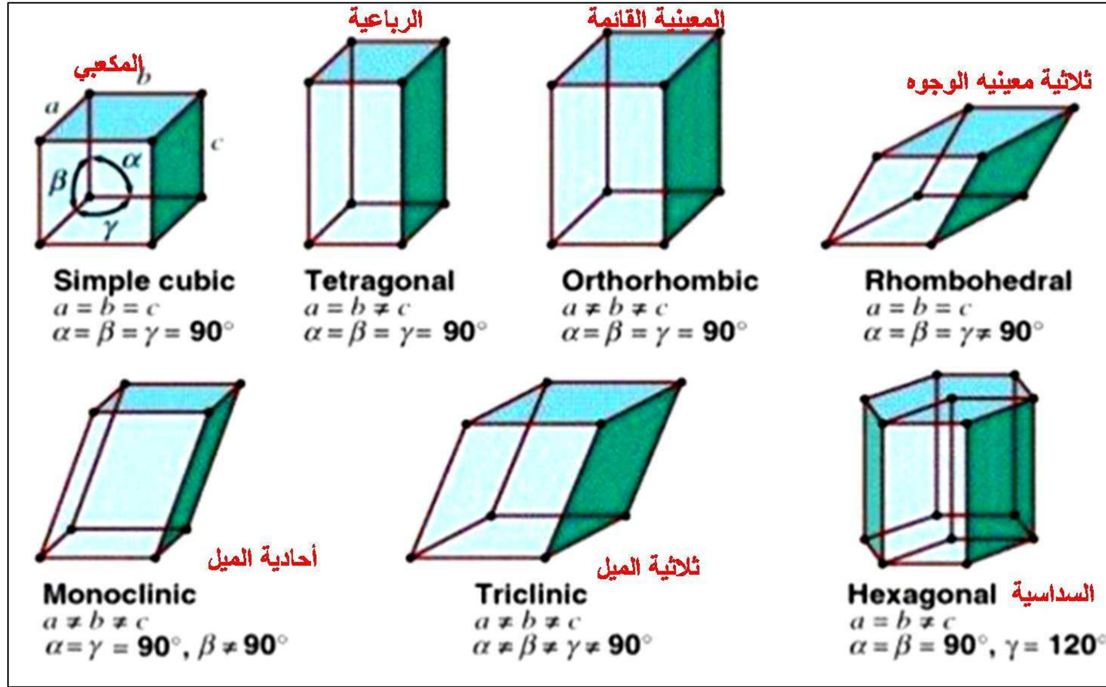
الفراغية. إن ثوابت الخلية البلورية الأولية هي : 1- أطوال الأضلاع a, b, c و 2- الزوايا Ƴ ، β ، α بين هذه الأضلاع .



ثوابت الخلية البلورية الأولية

تتبع البلورات سبعة أقسام تعرف باسم المنظومات البلورية السبعة، يمكن التعرف عليها على أساس المحاور التناظرية الموجودة وحسب ثوابت الخلية البلورية الأولية كما يلي:

الزوايا بين المحورية	المقاسات المحورية	المنظومة البلورية	الفئة التناظرية
$\alpha = \beta = \gamma = 90^0$	$a = b = c$	Cubic المكعبي	العليا
$\alpha = \beta = \gamma = 90^0$	$a = b \neq c$	Tetragonal الرباعية	الوسطى
$\alpha = \beta = \gamma = 90^0$	$a \neq b \neq c$	Orthorhombic المعينية القائمة	الدنيا
$\alpha = \beta = 90^0 \neq \gamma$	$a \neq b \neq c$	Monoclinic أحادية الميل	الدنيا
$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^0$	$a \neq b \neq c$	Triclinic ثلاثية الميل	الدنيا
$\alpha = \beta = \gamma < 120^0, \neq 90^0$	$a = b = c$	Trigonal ثلاثية معينية الوجوه	الوسطى
$\alpha = \beta = 90^0$,and $\gamma = 120^0$	$a = b \neq c$	Hexagonal السداسية	الوسطى



الخواص الفيزيائية للفلزات :

للتعرف على الفلز وتمييزه عن غيره نستعين بخواص الفلز الفيزيائية وهي خوصا سهلة التعيين. ولما كانت هذه الخواص تتوقف على كل من البناء الذري التركيب الكيميائية فإنها في مجموعها مميزة لكل فلز. والخواص الفيزيائية التالية يمكن تعيينها في العينات اليديوية دون الحاجة إلى الإستعانة بأجهزة خاصة أو معقدة:

1- خواص بصرية :Optical properties وهذه خواص تعتمد على الضوء، ومن أمثلتها البريق، واللون، وعرض الألوان، والتضوء، والشفافية، والمخدش.

2- خواص تماسكية :Cohesive properties وهذه خواص تعتمد على تماسك مادة الفلز ومدة مرونتها، ومن أمثلتها الصلادة، والإنفصام، والإنفصال، والمكسر، والقابلية للطرق والسحب.

3- خواص كهرومغناطيسية :Electrical and Magnetic properties وهذه خواص تتوقف على الكهربائية والمغناطيسية، ومن أمثلتها الكهرباء الحرارية، والكهرباء الضغطية والمغناطيسية.

4 -خواص حرارية :Thermal properties تضم هذه الخواص أنواع عدة مثل حرارة التكوين، وحرارة التبلور، والتوصيل الحراري ،والتمدد الحراري، وحرارة الذوبان، والقابلية للإنصهار . ولكن أهم هذه الخواص بالنسبة للتعرف على الفلز هي خاصية القابلية للإنصهار.

5-خواص أخرى، (غير سالفة الذكر): مثل المذاق، الملمس، والرائحة، والنشاط الإشعاعي.

الخواص البصرية Optical properties

البريق Luster : هو عبارة عن **المظهر الذي يبديه سطح الفلز في الضوء المنعكس**. أو بعبارة أخرى هو مقدار ونوع الضوء المنعكس من سطح الفلز. والبريق من الخواص الهامة في التعرف على الفلز. ويمكن تقسيم بريق الفلزات إلى نوعين: معدني ولا معدني. وعناك فلزات لها

بريق وسط بين الإثنين. البريق المعدني هو البريق الذي تعطيه المعادن. ومن أمثله الفلزات التي لها بريق معدني بيريت(Pyrite (FeSz ، وجالينا(Galena (PbS ، ومثل هذه الفلزات تكون معتمة وثقيلة الوزن. أما أنواع البريق الأخرى فتوصف بأنها لا معدنية. ونلاحظ أن الفلزات ذات البريق اللامعدني - بصفة عامة – تكون فاتحة اللون، وتسمح بمرور الضوء خلالها وخصوصا في الأحرف الرفيعة. ويشمل البريق اللامعدني الأنواع الآتية:

بريق زجاجي :Vitreous of Glassy مثل بريق الزجاج ومن أمثلته بريق الكوارتز.

بريق ماسي :Adamantino مثل بريق الألماس الساطح. ويعطي هذا البريق بواسطة الفلزات ذات معاملات الإنكسار العالية.

بريق راتنجي أو الصمغي :Resinous مثل سطح ومظهر الراتنج أو الكهرمان، ومن أمثلته بريق الكبريت، وسفاليريت .Sphalerite (ZnS) .

بريق لؤلؤي :Pearly ويشبه هذا البريق بريق اللؤلؤ، ومن أمثلته بريق التلك (الطلق Mg (OH) Silicate.

بريق حريري :Silky مثل الحرير، وينتج عن الفلزات التي في هيئة ألياف، ومن أمثلته بريق أحد أنواع الجبس المعروف بإسم ساتنسبار.Satinspar

بريق كامد :Earth of dull عندما يكون السطح غير براق أي مطفي ،ومن أمثلته بريق فلز الكاولين Al (OH) Silicate

اللون Color : يعتبر لون الفلز من أول الخواص الفيزيائية التي تشاهد، ووسيلة هامة جدا تساعد على التعرف على الفلز بالرغم مما هو معروف من أن اللون لا يمثل صفة أساسية في الفلز، إذ كثيرا ما يكون اللون نتيجة لشوائب غريبة تصادف وجودها في كيان الفلز. وهناك فلزات لها لون ثابت يساعد في التعرف عليها مثل الكبريت (أصفر) والملاكيت Malachite [Cu (OH) Carbonise]، الماجنتيت) (Magentite (Fe2O4 أسود، السنابار Cinnabar (HgS)أحمر.

تصنف الفلزات حسب اللون:

1- ألوان فلزية أصلية مميزة لها: مثل الملاكيت الأخضر- الكبريت الأصفر

2- فلزات غير ملونة بالأصل كالكوارتز والكالسيت وبالتالي ألوانها المكتسبة تعود للشوائب.

أما الفلزات التي ليس لها لون ثابت، أي التي تظهر ألوانا مختلفة في العينات المختلفة، فيعزى إختلاف اللون فيها إلى أسباب عدة. فقد يكون السبب كيميائيا أي نتيجة لإختلاف التركيب الكيميائي من عينة إلى أخرى، ومن الأمثلة المعروفة أنواع الكوارتز الوردي Rose quartz، والكوارتز البنفسجيAmethyst ، والكوارتز الأحمر خفي التبلور المعروف باسم جاسبرjasper ، إذ تنتج هذه الألوان عن وجود شوائب مثل أكسيد الحديد (اللون الأحمر) أو أكاسيد المنجنيز (اللون البنفسجي)، والمعروف أن الكوراتز النقي شفاف لا لون له. وقد يعزى التغير في اللون إلى البناء الذري للفلز حيث توجد بعض الروابط بين الذرات "مكسرة"، كما هو الحال في فلز الكوارتز المدخن smoky quartz له لون الدخان. وقد يكون اللون موزعا في الفلز الواحد في هيئة حلقات أو نطاقات منتظمة حول بعضها البعض مثل فلز أجات Agate .

لون المخدش Streak : يقصد بمخدش الفلز لون مسحوقه الناعم. ويمكن معرفة لون المسحوق (المخدش) بسهولة بواسطة حك الفلز على سطح لوح من الخزف الأبيض، وملاحظة لون المسحوق الناتج، وليس من الضروري أن يكون لون الفلز مثل مخدشه، فمثلا فلز بيريت لونه

كالنحاس الأصفر ولكن مخدشه أسود، والكروميت($FeCr_2O_4$) Chromite ، لونه أسود ومخدشه بني. ولما كان المخدش خاصية ثابتة بالنسبة للفلز الواحد لذلك فإن تعيينه بالنسبة للفلزات ذات الألوان المتغيرة يعتبر ذا أهمية كبرى، إذ يساعد كثيرا على التعرف على الفلز. كذلك نلاحظ أن كثيرا من الفلزات التي تشترك في لون واحد تختلف في مخدشها. فمثلا بعض عينات الماجنتيت (Fe_3O_4)والهيماتيت(Fe_2O_3) ، والجوتيت(($HFeO_2$ ، تكون سوداء اللون، ولكن إذا حققنا مخدشها وجدنا للمجانتيت مخدشا أسود، في حين يكون للهيماتيت مخدشا أحمر، أما لجوتيت فنجد أن مخدشه أصفر بني.

الشفافية Transparency : تعبر هذه الخاصية عن قدرة الفلز على إنفاذ الضوء . وتصنف الفلزات هنا إلى: فلزات شفافة مثل الكوارتز، فلزات نصف شفافة مثل السفاليريت، فلزات عاتمة مثل الأوليفين. وتعرف الفلزات التي تسمح برؤية الأجسام من خلالها بوضوح وسهولة باسم فلزات شفافة . فإذا بدت الأجسام غير واضحة فإن الفلز يعتبر في هذه الحالة نصف شفاف . أما الفلز المعتم فهو الذي لا يسمح بنفاذ الضوء حتى خلال أحرفه الرفيعة.

الخواص التماسكية Cohesive properties

الصلادة أو القساوة Hardness: الصلادة لفظ يعبر عن مقدار المقاومة التي يبديها الفلز تجاه الخدش والتآكل. ويمكن تعيين درجة الصلادة بملاحظة السهولة أو الصعوبة التي ينخدش بها الفلز بواسطة دبوس أو نصل سكن حاد. وتتراوح درجة الصلادة في الفلزات بين تلك الدرجة المنخفضة في معدت التالك Talc الذي يمكن خدشه بواسطة الظفر وتلك الدرجة العالية في فلز الألماس Diamond الذي يعتبر أصلد مادة معروفة سواء أكانت طبيعية أم صناعية. وتعتبر الصلادة من الخواص الفيزيائية الهامة للفلز، لأنه يمكن تعيينها بسرعة وبذلك تساعد في التعرف على الفلز. ويمكن تعيين صلادة الفلز تعيينا نسبيا، وذلك بمقارنتها بصلادة الفلزات المرتبة تبعا لزيادة درجة صلادتها في مقياس الصلادة المعروف باسم مقياس موهس للصلادة، الذي يحتوي على عشرة فلزات تبتدئ بأقل الفلزات صلادة وهو التلك وتنتهي بأكثر الفلزات صلادة وهو الألماس.

مثال: فإذا أردنا معرفة صلادة أي فلز اختبرناه بالظفر أو بنصل المبراة لمعرفة موضعه بين الفلزات الأخرى، ثم نجرب على سطحه الفلزات المقاربة له، حتى نحدد موضعه بين الفلز الذي يخدشه والفلز الذي ينخدش به. مثلا نجد أن فلز البيريت يخدش فلز الأرثوكليز (6)، ولكنه لا يخدش الفلز الذي يلي الأرثوكليز _ينخدش نفسه بذلك الفلز – الكوارتز. أي أن صلادة البيريت وسط بين صلادة الأرثوكليز (6) وصلادة الكوارتز (7) أي 6.5. فإذا أوجد فلزان لهما نفس الدرجة من الصلادة فإنهما يخدشان بعضهما بالتساوي. ويجب ملاحظة أن الأرقام المعطاة للفلزات في مقياس موهس للصلادة تمثل الصلادة النسبية.

درجات الصلادة التالية لبعض المواد: الظفر، حتى 2.5 - زجاج النافذة، حتى 5.5
عملة نحاسية، حتى 3 - لوح المخدش، حتى 6.5 - نصل سكين، حتى 5.5
مبرد صلب، 6-7 .

وفيما يلي مقياس موهس للقساوة:

1-التالك Talc
2-الجبس Gypsum
3-الكالسيت Calcite
4-الفلوريت Fluorite

5-الأباتيت Apatite
6-الأرثوكليز Orthoclase
7-الكوارتز Quartz
8-التوباز Topaz
9-الكوارندوم Corundum
10-الألماس Diamond

الإنفصام Cleavage : هذه هي الخاصية التي بموجبها ينفصم الفلز أو يتشقق بسهولة في إتجاهات معينة، وينتج عنها سطوح جديدة تعرف باسم مستويات الإنقصام، وتمثل هذه المستويات أوجها بلورية ممكنة. إذ أن الترتيب الذري الداخلي للبلورة هو الذي يتحكم في تكوين وإتجاه هذه المستويات الإنفصامية، تماما كما يتحكم في تكوين وإتجاه الأوجه البلورية. ويحدث الإنفصام دائما في المستويات التي تكون فيها الذرات مرتبطة برباط ضعيف. ينفصم الفلز نتيجة لدقه أو ضغطه في إتجاه معين بواسطة حرف نصل سكين حاد. ويوصف الإنفصام تبعا لسهولة حدوثه وإكتماله بالصفات التالية: كامل، واضح أو جيد، غير كامل، صعب أو ضعيف. ويدل على الإنفصام في الفلز وجود شروخ أو خطوط منتظمة المسافات والبعد والإتجاهات على سطح ناعم للفلز، هذه الشروخ أو الخطوط هي عبارة عن الأثر الذي يتركه الإنفصام على سطح الفلز وفي هذه الحالات التي نشاهد فيها آثار الإنفصام لا يوجد ما يبرر مطلقا تكسير عينة الفلز أو محاولة فصمها إلى شرائح بواسطة نصل السكين.

<u>يصنف الانفصام وفق درجة اكتماله وسهولة تقشره إلى:</u>

انفصام تام: مثل الميكا

انفصام واضح:مثل الهورنبلند

انفصام غير تام: مثل الأوليفين

انفصام غير واضح: مثل الكوارتز

الإنفصال Parting : هو مستويات ضعف، مثل الإنفصام إلا أنه لا يتكون عموما نتيجة للبناء الذري الداخلي للفلز، بل نتيجة لعوامل أخرى مثل الضغط أو التوأمية. ولما كانت هذه المستويات وخصوصا المستويات التوأمية موازية لمستويات بلورية فإن الإنفصال يشبه الإنفصام. ولكن الإنفصام يختلف عن الإنفصام في أن الإنفصال لا يوجد بالضرورة في جميع عينات الفلز الواحد، ولكن يشاهد فقط في تلك البلورات التوأمية أو التي تعرضت إلى ضغط مناسب. وحتى في مثل هذه الحالات التي يشاهد فيها الإنفصال فإن عدد مستويات الإنفصال في الإتجاه الواحد محدودة، وتبعد هذه المستويات الإنفصالية عن بعضها البعض بمسافات غير متساوية عموما. ومن أشهر أمثلة الإنفصال الذي يحدث في المستويات التوأمية والتركيبية (مستويات ضعف في البناء) ذلك الإنفصال في فلزات البيروكسين.

المكسر Fracture : يعرف المكسر بأنه نوع السطح الناتج عن كسر الفلز في مستوى غير مستوى الإنفصام. تعطي الفلزات التي ليس فيها إنفصاما مكسرا بسهولة، وتستخدم الصفات التالية في وصف الأنواع المختلفة من المكسر.

<u>محاري</u>: عندما يشبه السطح المكسور الشكل الداخلي لصدفة المحارة، أي يكون في هيئة خطوط مقوسة دائرية مثل مكسر قطعة سميكة من الزجاج ومن أمثلته مكسر الكوارتز.

<u>متشظ</u>: عندما يكون السطح الناتج جاف غير منتظم وهو منتشر بين كثير من الفلزات، مثل البيريت، والباريت والهورنبلاند.

ترابي: سطح غير منتظم يعطي بواسطة الفلزات الترابية، مثل الكاولينيت والليمونيت.
مسنن: عندما يكون السطح الناتج عن الكسر ذا أسنان حادة مدببة، مثل مكسر قطعة من النحاس.

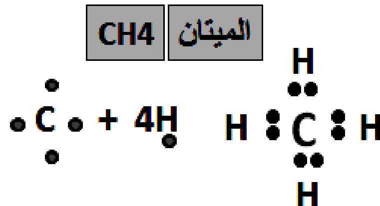
الخواص الكيميائية البلورية للفلزات:

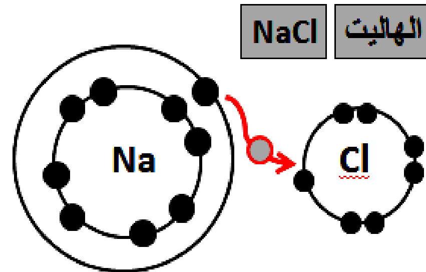
من الأسباب التي حدت بنا إلى دراسة هذه العلاقة الكيميائية البلورية، وفهمها على أساس علمي صحيح هو الملاحظات والأسئلة المحيرة التي نتجت عن محاولات تصنيف الفلزات على أساس تركيبها الكيميائي، ففي التصنيف الكيميائي للفلزات نجد الفلزات مصنفة إلى كبريتيدات، أكاسيد، كلوريدات، كربونات، كبريتات، فوسفات، سليكات. وفي مثل هذه الحالات التي ننظر فيها إلى الفلزات من زاوية واحدة، ألا وهي التركيب الكيميائي. قد تصادفنا أسئلة محيرة من النوع الآتي: كيف نعلل وجود الفلزات ذات التركيب الكيميائي الواحد ومتعددة الأشكال (مثل الجرافيت والألماس)؟ وما هو العامل المشترك بين الفلزات متشابهة البلورات ولكنها مختلفة في التركيب الكيميائي؟



العلاقة بين التركيب الكيميائي للفلزات والنظام البلوري.

الرابطة التكافئية/ التشاركية	الرابطة الشاردية
رابطة قوية تنتج عن اشتراك الذرات بالالكترونات الموجودة في مداراتها الخارجية تتميز الفلزات هنا بالمتانة العالية وبعدم القابلية للذوبان السيليكات	تتميز الفلزات هنا بسهولة الانحلال بالماء الأملاح الكربونات الهاليدات السولفات

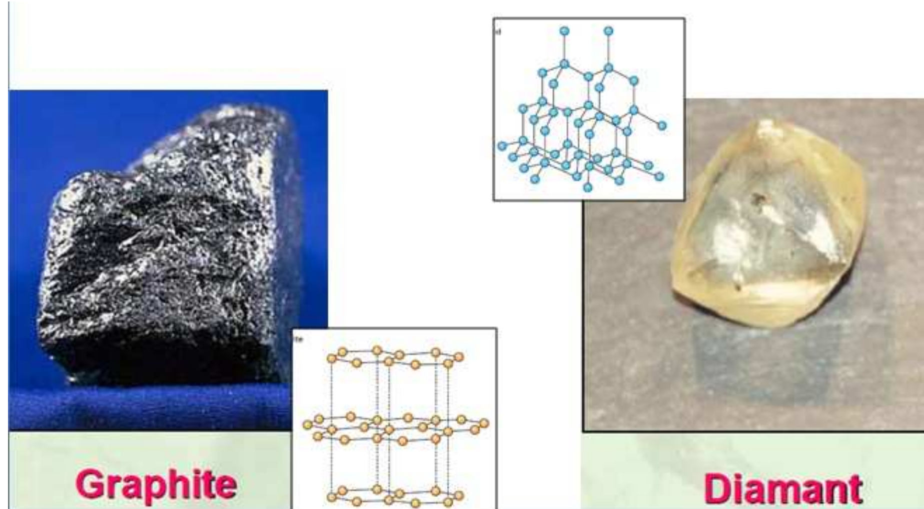




التشابه الشكلي Isomorphism : سبق أن ذكرنا عند دراستنا للبلورات أن لكل مادة شكل بلوري مميز، وتختلف بلورات المواد المختلفة (عدا بلورات فصيلة المكعب) عن بعضها البعض في الزوايا بين الوجهية، ولكن لوحظ أن هناك علاقة بين الشكل البلوري لمادة ما وتركيبها الكيميائي، وأنه قد توجد مادتان لهما تركيبان كيميائيان متقابلان وشكلان بلوريان متناظران تقريبا. مثل هذه العلاقة بين المواد المختلفة في التركيب الكيميائي والمتشابهة في الشكل البلوري تعرف باسم التشابه الشكلي. ففي مجموعة فلزات البلاجيوكلاز (فصيلة ثلاثية الميول) فإنها تمثل بوضوح الإحلال الكامل بين طرفي المجموعة: الألبيت ($NaAlSi_3O_8$) والأنورثيت ($CaAl_2Si_2O_8$)، فيحل الصوديوم والسليكون إحلالا كاملا محل الكالسيوم والألومنيوم لتنتج مركبات متسوطة بين الإثنين (تحتوي على الصوديوم والكالسيوم والألومنيوم والسليكون) ولها خواص متدرجة بين خواص الطرفين.

ومن الأمثلة الأخرى للإحلال الكامل في فلزات الاوليفين (فصيلة المعيني القائمة)، حيث يتشابه الطرفان النهائيان فورستريت Forsterite Mg_2SiO_4 وفياليت Fayalite Fe_2SiO_4 ، وتتداخل بلوراتها معا، ويحل الحديد محل المغنزيوم بكل حرية وبأية نسبة في بنائهما الذري المتشابه، وتنتج سلسلة الاوليفين Olivine series $(Mg,Fe)_2SiO_4$. ومما سبق يتضح لنا أن خاصية التشابه الشكلي تدل على أن الخواص المختلفة للفلزات تختلف بصفة عامة باختلاف التركيب الكيميائية. وتعتبر خاصية التشابه الشكلي من أهم القواعد الأساسية في كيمياء الفلزات إذ يندر أن توجد الفلزات في حالة نقية.

التعدد الشكلي Polymorphilism : تصف هذه الظاهرة وجود أكثر من مادة لها نفس التركيب الكيميائية ولكنها تختلف في بنائها الذري وشكلها البلوري، مثال ذلك، الألماس والجرافيت فلزان لهما نفس التركيب الكيميائية (كربون)، ولا يمكن التفرقة بينهما بأي وسيلة كيميائية. ولكنهما يختلفان عن بعضهما البعض في الخواص الفيزيائية مثل الصلادة، والوزن النوعي الخ. مثال آخر: كربونات الكالسيوم يمكن أن تتبلور تحت ظروف خاصة لتعطي بلورة معينة الأوجه، هي فلز الكالسيت وتحت ظروف أخرى تعطي بلورة معينية قائمة هي فلز الأراغونيت. وكلا الفلزين له خواص فيزيائية مختلفة عن خواص الآخر. ويطلق على المادة التي توجد في شكلين بلوريين مختلفين اسم ثنائية الشكل، مثل الكربون وكبريتيد الحديد وكربونات الكالسيوم. أما إذا وجدت المادة في ثلاثة أشكال فإنها تعرف باسم ثلاثية التشكل، مثل ثاني أكسيد الكربون.



تصنيف الفلزات Classification of minerals

يرتبط هذا التصنيف بالبناء الذري للفلز ولذلك يعرف باسم التصنيف الكيميائي البلوري للفلزات.
تصنيف الفلزات كيميائية (على أساس الشق الحامضي) وبلورياً (على أساس البناء الذري) إلى ثمانية صفوف Classes كما يلي:

1- صف الفلزات العنصرية .Native elements
2- صف الكبريتيدات Sulfides والأملاح الكبريتية.Suffocates
3- صف الأكاسيد Oxides والهيدروكسيدات Hydroxides
4- صف الهاليدات Halides
5- صف الكربوناتCarbonates ، النتراتNitrates ، البورات.Borates
6- صف الكبريتاتSulfates ، الكروماتChromates ، الموليبداتMolybdates ، التنجستات.Tungstates
7- صف الفوسفاتPhosphates ، الزرنيخاتArsenates ، الفانادات.Vanadates
8- صف السليكات Silicates

1- الفلزات العنصرية Native Elements

الفلزات العنصرية: الذهب، الفضة، النحاس، البلاتين، الحديد. أشباه الفلزات العنصرية كالزرنيخ والبزموت. واللافلزات العنصرية: الكبريت، الألماس، الجرافيت.

الذهب: يوجد مع شوائب من النحاس والفضة والحديد يوجد على شكل كتل حبيبية، قشور الوزن النوعي عالي 19.3 القساوة 3 التبلور مكعبي المنشأ: اندفاعي مغماتي حامضي هيدروترمالي مع عروق الكوارتز يرافق: البيريت - الغالينا - التورمالين	**الفضة:** يوجد على شكل تجمعات متفرعة، خيوط الوزن النوعي عالي 10.5 القساوة 3 التبلور مكعبي يوجد على شكل تجمعات متفرعة، خيوط الوزن النوعي عالي 10.5 القساوة 3 التبلور مكعبي
الغرافيت: كربون ضمن بنية داخلية هشة قساوة منخفضة جداً (1-2) تبلور سداسي الوزن النوعي 1.7 المنشأ: تحول الفحم الحجري هيدروترمالي	**الألماس:** كربون ضمن بنية داخلية متينة جداً قساوة مرتفعة جداً تبلور مكعبي، ثماني الوجوه الوزن النوعي 3.3 المنشأ: مرتبط بالصخور الإندفاعية فوق الأساسية (البيرودوتيت).



2-الكباريت والأملاح الكبريتيدية Sulfides and Sulfoslates

200 فلز يدخل في تركيبها بشكل أساسي الكبريت

بريقها معدني عموماً

الوزن النوعي بين ٤ و ٧

توجد بشكل مبلور ضمن تجمعات حبيبية

المنشأ مغماتي و هيدروترمالي

تشكل خامات هامة: للرصاص ، التوتياء والنحاس والنيكل و الكوبالت

البيريت $Fe S_2$ 46% حديد و 54% كبريت تبلور مكعبي بريق معدني لون أصفر ذهبي و مخدش أسود يتشكل من محاليل هيدروترمالية يستخدم للحصول على الحديد و حمض الكبريت	
الكالكوبيريت $Cu Fe S_2$ 31 % حديد و 35% كبريت و% 34 نحاس تبلور رباعي بريق معدني لامع لون أصفر نحاسي مخضر و مخدش أسود. يتشكل من محاليل هيدروترمالية، رسوبي. يستخدم للحصول على النحاس.	
الغالينا $pb S$ 86,6 % رصاص و 13,4% كبريت تبلور مكعبي بريق معدني لامع لون رمادي و مخدش أسود أو رمادي مسود. يتشكل من محاليل هيدروترمالية،. يستخدم للحصول على الرصاص.	

3- الأكاسيد والهيدروكسيدات Oxides and Hydroxides

تتشكل من ارتباط الأوكسجين مع العناصر الكيميائية الأخرى، يسهم الماء H2O, OH فيها ليشكل الأكاسيد المائية. 200 فلز من الأكاسيد تشكل 17% من تركيب القشرة الأرضية. تتميز بتنوع المنشأ: مغماتي هيدروترمالي، رسوبي. من فلزاتها:

الكوارتز SiO2 - يشكل 12% من تركيب القشرة الأرضية - يوجد في الصخور النارية والرسوبية والمتحولة - يوجد متعدد الأشكال عند ظروف مختلفة من الضغط والحرارة حيث يتبلور في المنظومة السداسية في درجة حرارة أعلى من 573 يتبلور في النظام الثلاثي في درجة حرارة أقل من 573. يكون شفافاً إذا كان نقياً. ويأخذ ألواناً عديدة منها الحليبي، البنفسجي الوردي..الخ. حسب الشوائب. يوجد في تجمعات بلورية نتوئية بأحجام مختلفة تصل لعدة أمتار.قساوته 7، وبريقه زجاجي، وزنه النوعي 2,65.	
الهيماتيت Fe2O3 من أهم خامات الحديد حيث نسبة الحديد فيه هي 70% يوجد مبلوراً أو قشور صفائحية قد تشكل ما يسمى الوردة الحديدية لونه بني محمر أو مائل للأسود ومخدشه أحمر فاتح يتبلور في الثلاثي، منشأه رسوبي وفي مناطق الأكسدة يتحول إلى ليمونيت (أكسيد حديد مائي) منشأه هيدروترمالي.	
البيرولوزيت Mn O2 نسبة المنغنيز فيه هي 63% يوجد مبلوراً أو ألياف شعاعية أو شجرية لونه أسود ومخدشه أسود حديدي يتبلور في الرباعي، منشأه رسوبي ثانوي. يشكل خامات في الصخور الغضارية.	

4- الهاليدات Halides :

تتشكل من أملاح الحموض التالية : HI, HBr, HCl, HF

ترتبط بالمنشأ الهيدروترمالي والمغماتي خاصة الفلوريدات

ترتبط بالمنشأ الرسوبي: الكلوريدات، على شكل متبخرات

بريق زجاجي.

وزن نوعي خفيف

ألوان فاتحة

الهاليت Na Cl % 40 صوديوم و % 60 كلور تبلور مكعبي بريق زجاجي لون: شفاف مصفر أو محمر. و مخدش أبيض يتشكل من تبخر المحاليل المائية، رسوبي. يستخدم : ملح الطعام.	
الفلوريت Ca F2 تبلور مكعبي بريق زجاجي لون: شفاف أزرق أو بنفسجي أو أخضر. مخدش عديم اللون يتشكل من المحاليل الهيدروترمالية، رسوبي. يرافق خامات الفضة والرصاص.	©Dakota Matrix

5- الكربونات والبورات Carbonates, etc.

- تشكل 2% من القشرة الأرضية.
- تتصف بالتفاعل مع حمض كلور الماء
- تنتج عن اتحادات بسيطة للـ Mg, Ca, Fe مع الأنيون CO3

- ألوانها فاتحة
- قساوتها بين 3 و5
- تتشكل بالترسيب الكيميائي والبيوكيميائي بشكل أقل هيدروترمالياً بالحرارة المنخفضة

الكالسيت Ca CO3 أكثر الفلزات الكربوناتية انتشاراً، متعدد الألوان أبيض شفاف ومخدشه أبيض. بريق زجاجي، قساوته 3، يتبلور في الثلاثي	**الأراغونيت Ca CO3** أقل ثباتاً من الكالسيت. متعدد الألوان، أصفر فاتح ، أبيض، أحمر ومخدشه أبيض. بريق زجاجي، قساوته 3,5. بلوراته إبرية الشكل وموشورية من النظام المعيني المستقيم

6- الكبريتات Sulfates :

تقسم إلى سولفات مائية و لامائية

تتضمن في تركيبها إضافة للجذر 2- [SO4] ، أيضاً شوارد الـ-[OH]

منشأ رسوبي بحري وبحيري وأحياناً هيدروترماليا

لونها فاتح

قساوتها منخفضة بين 2 و 3,5

بريقها زجاجي

غالبها قابل للانحلال في الماء

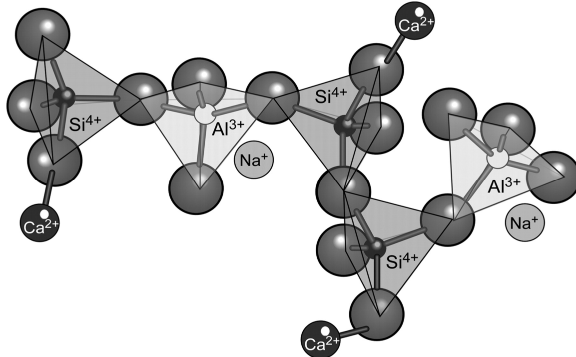
الجص Ca SO4 2H2O	الأنهدريت Ca SO4
بلورات موشورية، نظام أحادي الميل	لا يحوي على الماء. حبيبات دقيقة، نظام المعيني المستقيم
اللون أبيض، أو عديم اللون ومخدشه أبيض	اللون أبيض أو رمادي ومخدشه أبيض
قساوته 2	قساوته 3
المنشأ: رسوبي كيميائي في البحار قليلة العمق	المنشأ: رسوبي كيميائي

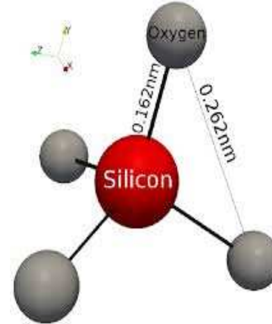
7- الفوسفات والزرتينجات والفانادات Phosphates, etc.

من فلزاتها:أباتيت$Ca_6(F,Cl,OH)(PO_4)_8$ ، مونازيت$(Ca,La,Th)PO_4$

8- السليكات Silicates

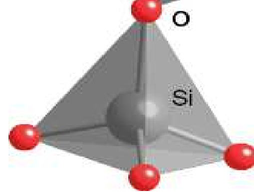
أهم الفلزات المكونة لصخور القشرة الأرضية، تحوي 800 فلز، تشكل 75% من فلزات الليتوسفير. تحاط كل شاردة سيليسيوم في السيلكات بأربع ذرات من الأوكسجين متوضعة في رؤوس رباعي وجوه (SiO_4) قد يحل الألمنيوم محل السيليسيوم في مراكز بعض رباعيات الوجوه لتشكل الألمينوسيليكات، كما يمكن أن تدخل شوارد الهيدروكسيل ، الفلور، الكالسيوم، الصوديم، .... الخ في الشبكة البلورية.



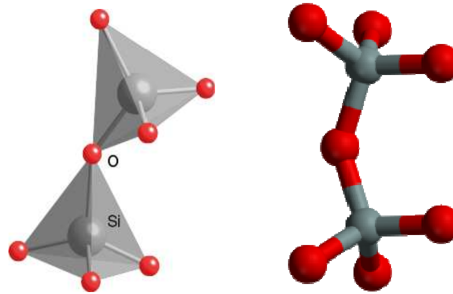


من فلزاتها:

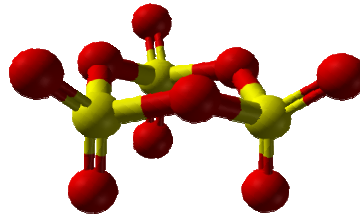
أوليفين (سليكات الحديد والمغنزيوم)
أرثوكليز وميكروكلين (سليكات الألومنيوم والبوتاسيوم)
تصنف صف السليكات إلى ستة تحت صف على أساس الوحدة البنائية المعروفة باسم رباعي الأوجه:
1- تتراهيدرون: رباعي الأوجه (SiO_4) المنفرد.



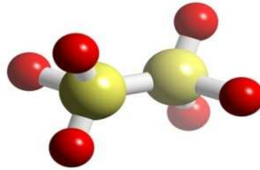
2- تحت صف السوروسليكات Sorosilicates تتكون من اثنين من رباعي الأوجه مرتبطين عن طريق المشاركة في أيون أكسجين، Si_2O_7.



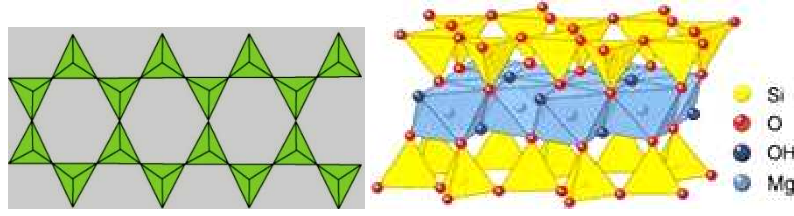
3- تحت صف السيكوسليكات) Cycosilicates أو الحلقية)، ثلاثة من التتراهيدرون أو أربعة أو ستة مرتبطة مع بعضها البعض لتكون حلقات ثلاثية أو رباعية أو سداسية Si_3O_8



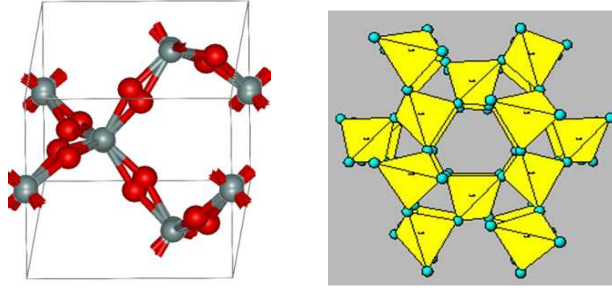
4-تحت صف الاينوسليكات Inosilicates السلسلية، سلسلة مستمرة من رباعي الأوجه المرتبطة مع بعضها بصفة مستمرة في اتجاه واحدة. Si_2O_6



5- تحت صف الفيللوسليكات Phyllosilicates الصفائحية، صفائح من رباعي الأوجه المرتبطة ببعضها عن طريق أركان ثلاثة وبذلك تمتد بصفة مستمرة في اتجاهين أو بعدين لتأخذ شكل الصفائح أو الوريقات المتراصة فوق بعضها البعض.(Si_4O_{10})



6- تحت صف التكتوسليكات Tectosilicates الهيكلية، هيكل من رباعي الأوجه المرتبطة بعضها ببعض عن طريق أركانها الأربعة، ويبدو الهيكل في شكل شبكة ممتدة في الأبعاد الثلاثة n (SiO_2).



نشأة الفلزات:

يمكن إرجاع نشأة الفلزات وتكوينها في الطبيعة إلى أصول أربعة:

1- التكوين من سوائل طبيعية مصهورة تعرف باسم الماغما Magma واللافا
2- التكوين من محاليل
3- التكوين من الغازات والأبخرة
4- التكون من مواد صلبة (الفلزات الموجودة في الصخور المختلفة)

أولاً- تكوين الفلزات من سوائل طبيعية مصهورة:

إن الغالبية العظمى من الفلزات المكونة للقشرة الأرضية قد تكونت نتيجة لتصلب المادة الصخرية المصهورة التي تعرف باسم الماغما. ونعني بكلمة ماغما السائل الصخري ذا درجة الحرارة العالية الموجودة أسفل القشرة الأرضية على أعماق ذات حرارة عالية وضغط كبير. أما كلمة لافا (أو لابة أو حمم) فنعني بها السائل الصخري المرتفع الحرارة الذي يظهر على سطح الأرض حيث الضغط قليل (الضغط الجوي العادي). وقد سبق أن عرفنا الصخر بأنه مخلوط طبيعي من عدة فلزات ويكون جزءا أساسيا من القشرة الأرضية. وتعرف الصخور التي تتبلور من الماغما باسم الصخور النارية ومن أمثلتها الجرانيت والديوريت والبازلت. ويمكن اعتبار **الماغما** على أنها محلول معقد ثقيل تتحرك فيها العناصر المختلفة بحرية وتحت ظروف خاصة مواتية تتحد فيها هذه العناصر مع بعضها البعض لتكون الفلزات.

ثانياً- تكوين الفلزات من المحاليل:

تكونت كثير من الفلزات في الطبيعة نتيجة لتبلورها من المحاليل مثل فلز الهاليت (NaCl) والكالسيت ($CaCO_3$). وتتبلور الفلزات من المحاليل نتيجة لإحدة الطرق الطبيعية التالية:

1-تبخر السائل المذيب: تحتوي مياه البحار والمحيطات والبحيرات المالحة على أملاح كثيرة مذابة فيها ومكونة لمياه ملحية. وعندما تتركز نسبة هذه الأملاح في هذه المحاليل نتيجة لبخر الماء المذيب فإنها تصل إلى درجة تترسب بعدها بعض الفلزات. والمعروف أن مياه البحر تحتوي على الأملاح التالية(78%) NaCl ، ($MgCl_2$ (9%)، $MgSO_4$ (6%)، $CaSO_4$ (4 %)،

KCl (2%). أي أن هذه الأملاح الخمسة تكون 99% من الأملاح الموجودة في البحر. وعندما تتبخر مياه البحر تتبلور هذه الفلزات بترتيب درجة ذوباتها. فيتبلور أولا الملح الأقل ذوبانا: كربونات الكالسيوم ثم كربونات المغنزيوم ويليه الملح الأكثر ذوبانا: كبريتات الكالسيوم، ثم تنتهي عملية التبلور بأكثر الأملاح ذوبانا مثل كلوريد الصوديوم.

2- الترسيب من المياه الأرضية نتيجة لفقدان الغاز الذي يعمل كمذيب: تحتوي المياه الأرضية المتحركة في القشرة الأرضية في بعض الأحيان على كميات لا بأس بها من غاز ثاني أكسيد الكربون مذابا فيها، وتتحول هذه المياه إلى حامض ضعيف (هو حامض الكربونيك). وعندما يصادف هذه الحامض الضعيف في طريقه صخورا جيرية (كربونات الكالسيوم) فإنه يذيبها حيث تتكون بيكربونات الكالسيوم القابلة للذوبان في الماء، ولكن لما كان هذا المركب الكيميائي الأخير مركباً غير مستقر فإنه يفقد ثاني أكسيد الكربون المذاب في الماء ليتحول إلى الكربونات المستقرة (أو الثابتة) التي لا تذوب في الماء فترسب في الحال كفلز كالسيت كما في المعادلات الكيميائية التالية:


$$CaCO3 + H2O + CO2 = Ca(HCO2)2$$


$$Ca(HCO3)2 = CaCO8 + CO2 + H2O$$

3- انخفاض درجة حرارة المحلول وضغطه: تتكون المحاليل المائية الحارة (المحاليل الماغماتية) في ظروف ذات درجات حرارة وضغط عالية، وتحتوي – نتيجة لذلك – على كميات كبيرة من المواد المذابة مثل الأكاسيد والكبريتيدات والكربونات وعندما تبرد هذه المحاليل ويقل ضغطها يترسب منها فلزات مختلفة تعرف بالفلزات المائية الحارة.

4-تفاعل المحاليل مع المواد الصلبة "الإحلال": قد يتفاعل محلول يحتوي على كبريتات الزنك مع الحجر الكلسي "كالسيت" وينتج عن هذا التفاعل تكوين فلز Smithsonite (كربونات الزنك وكبريتات الكالسيوم) وتعرف هذه العملية التي يتغير فيها الفلز الصلب إلى فلز آخر جديد بفعل المحاليل باسم الإحلال.

5-تأثير الكائنات الحية على المحاليل: تستخلص بعض الكائنات الحية مثل المرجان والرخويات "المحاريات" كربونات الكالسيوم من مياه البحار التي تعيش فيها وتفرزها في هيئة اصداف وأجزاء صلبة ضمن أجسامها. وتترسب كربونات الكالسيوم في هذه الأجزاء الصلبة إما في هيئة فلز كالسيت أو فلز أراجونيت.

ثالثاً- تكوين الفلزات من الغازات :

إن الماغما تحتوي على غازات ومواد طيارة مذابة فيها تحت ضغط كبير وفي درجة حرارة عالية. وتصبح الماغما في المراحل الأخيرة من عملية التبلور غنية بهذه المواد الطيارة. وتحت ظروف مواتية، تترك هذه المواد الطيارة والغازات الماغما المتبقية وتتفاعل مع بعضها البعض أو مع الصخور المحيطة بها. وتشمل هذه المواد الطيارة والغازات بخار الماء (أكثرها وجودا) والكلور والفلور والبورون والكبريت والمركبات الطيارة لهذه العناصر. أما إذا كانت الماغما قريبة من السطح أو على السطح "لافا" كما في انفجارات البراكينفإن هذه المكونات الطيارة تهرب ثم لا تلبث أن تبرد وتتجمد بسرعة لتترسب مباشرة في هيئة صلبة حول فوهة البركان. ومن أمثلة الفلزات التي تتكون بهذه الطريقة الهاليت والكبريت والحامض البوريك.

رابعاً- تكوين الفلزات من مواد صبة بواسطة التحول Metamorphism

تتغير الفلزات المكونة للصخور وكذلك بناؤها وخواصها تغيرا كاملا إذا أثرت عليها عوامل خاصة أهمها الحرارة والضغط وبخار الماء والتفاعلات الكيماوية للمحاليل. وتعرف هذه التغيرات

التي تطرأ على الفلزات باسم التحول. وقد تتحول الأنواع المختلفة من الصخور النارية الرسوبية لتنتج صخورا متحولة. وقد يحدث التحول في منطقة محدودة تحيط بالجسم الناري المتدخل في الصخور. ومن أمثلة الفلزات التي تتكون بفعل التحول الحراري: الجرافيت "من تبلور الكربون الموجود في الصخر المتحول"

الباراجنيز المينيرالية (الفلزية): هي الوجود المتواقت والتجاور للفلزات نتيجة العمليات الجيولوجية الطبيعية. هي تجمعات فلزية نشأت خلال عملية منشئية واحدة محددة الزمان والمكان، وضمن شروط كيميائية وفيزيائية محددة. تفيد في تنظيم وتوجيه أعمال البحث والتنقيب عن الخامات المفيدة. مثال: الغالينا مع االبيريت والباريت . الكوارتز مع الذهب



الصخور Rocks

مقدمة:

تمثل الصخور المظهر الشائع لمجموعات الفلزات في الطبيعة. قد يتكون الصخر من فلز واحد فقط وعادة تتكون الصخور من خمسة إلى عشرة فلزات أو أكثر. والفلزات الأساسية في تكوين الصخور لا تعدو عشرين فلزا فقط هي: فلزات الصفاح والبيروكسين والامفيبول والميكا والأوليفين والابيدوت والجارنت والكلوريت والتالك والسرنتين والكاولينيت والفلزات الطينية والكوارتز والهيماتيت والماجنتيت والكالسيت والدولوميت والجبس والأنهيدريت والهاليت. والصخر بجانب كونه عبارة عن مجموعة من الفلزات، فإنه كذلك لابد أن يكون جزءا أساسيا في تركيب القشرة الأرضية. وفي هذه الحالة يكون للصخر خاصية مميزة تميزه عن صخر آخر وتجعله وحدة قائمة بذاتها. وعلى ذلك يمكن اعتبار الصخر على أنه الوحدة الأساسية في بناء الأرض، أما الفلز فهو وحدة الصخر. وتختلف الصخور عن بعضها البعض من حيث أنواع الفلزات المكونة لها، وعلاقة هذه الفلزات ببعضها البعض في الصخر الواحد. كذلك تختلف من حيث موضع تكوينها في الكرة الأرضية.

أنواع الصخور:

ويمكن تقسيم الصخور حسب نشأتها إلى ثلاثة أقسام رئيسية:

1-الصخور النارية igneous Rocks ، وتشمل جميع المواد الأرضية التي كانت في فترة سابقة مواد مصهورة، أو بتعبير آخر الصخور التي تجمدت من مواد مصهورة (ماغما أو لافا) مثل الجرانيت والبازلت.

2-الصخور الرسوبية Sedimentary Rocks ، وتشمل جميع المواد الأرضية التي ترسبت بواسطة عوامل طبيعية مثل المياه والرياح والثلج والنباتات والحيوانات ومن أمثلتها الحجر الرملي والحجر الكلسي والطين.

3-الصخور المتحولة Metamorphic Ricks ، وهي صخور كانت في أول تكونها إما نارية أو رسوبية ثم تاثرت بعوامل أدت إلى تعرضها إما لحرارة مرتفعة جدا، أو لضغط عظيم أو الاثنين معا. فاكتسبت من جراء ذلك معالم جديدة ليست لاي من نوعي الصخر الأصليين. أي أنها تحولت من الحالة الأصلية (نارية أو رسوبية) إلى حالة جديدة (متحولة). ومن أمثلتها الشست و الغنيس.

الصخور النارية Igneous Rocks

تتكون الصخور النارية نتيجة لتجمد الماغما داخل الأرض أو تجمد اللافا على سطح الأرض. إذاً هي نتاج النشاط المغماتي وهي صخور ذات منشأ داخلي تنتج من تبلور المادة المنصهرة (الماغما) التي هي صهارة سيليكاتية مشبعة بالماء والغازات الطيارة كالفلور والكلور وثاني أكسيد الكربون. عند التبلور في الأعماق، يكون التبريد بطيء وتنتج صخور مع حبات بلورية كاملة. وعند التبلور عند السطح، يكون التبريد سريع وتنتج صخور خفية التبلور أو زجاجية . توصف الصخور النارية بأنها:

1- متبلورة او زجاجية.
2- صلبة و متماسكة و توجد علي هيئة كتلية.
3- عدم وجود مستحاثات.
4- لا توجد بها مسامات.

تفاضل الماغما

مجموع العمليات الفيزيو-كيميائية التي تؤدي إلى نشوء الماغما الثانوية من الماغما الأم والتي تعطي صخوراً مغماتية مختلفة بتركيبها الفلزي، والى اغناء الأجزاء المختلفة من الخزان المغماتي الواحد بمكونات مختلفة. ويحدث التفاضل **البلوري** وفق ما يلي: البلورات المتشكلة أولاً تهبط لقاع الخزان المغماتي، مثل الفلزات الحديدية المغنيزية الثقيلة. والماغما الأولية سيتغير تركيبها تدريجياً لتعطي أنواع جديدة

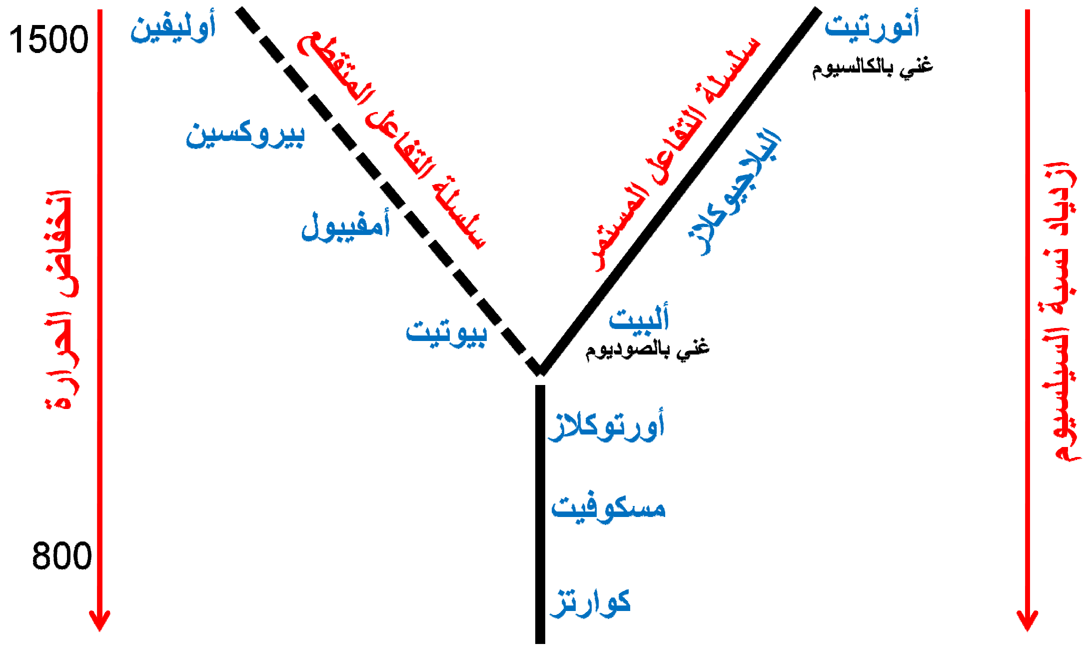


التفاضل البلوري حسب العالم بوين :

يتم تبلور الماغما وفق سلسلتين رئيستين:

السلسلة الأولى: سلسلة التفاعل المستمر تتشكل فيها فلزات البلاجيوكلاز .

السلسلة الثانية: سلسلة التفاعل المتقطع تتشكل فيها الفلزات الغنية بـ Mg , Fe.



السلسلة الأولى: سلسلة التفاعل المستمر تتشكل فيها فلزات البلاجيوكلاز (ألبيت-أنورتيت)، حيث يتغير التركيب الفلزي باستمرار دون تغير البنية البلورية. تبدأ السلسلة بالبلاجيوكلاز الأساسي الغني بالكالسيوم ثم متوسط الحموضة فالبلاجيوكلاز الحامضي الغني بالصوديم، حيث نجد بلورات من عدة نطاقات يكون فيها الانورتيت في المركز و الألبيت في المحيط.

السلسلة الثانية: سلسلة التفاعل المتقطع تتشكل فيها الفلزات الغنية بـالحديد والمغنيزيوم، حيث يتشكل في البداية فلزات مبكرة كالاوليفين ، ولكنه سرعان ما يتفاعل مع الماغما السائلة ليعطي البيروكسين، البيروكسين أيضا يتفاعل مع الماغما ليعطي الأمفيبول الذي يعطي بتفاعله مع الماغما فلز البيوتيت. وهذا كله مع انخفاض الحرارة وازدياد نسبة السيليسيوم في الماغما.

الماغما المتبقية عن السلسلتين السابقتين تصبح غنية بالسيلكا والصوديوم والبوتاسيم ، وتعطي فلزات الأورتوز والمسكوفيت والكوارتز في **سلسلة مستقلة ثالثة** مرهونة بالماغما المتبقية.

ويفسر هذا النظام التبلوري تكوين الانواع المختلفة من الصخور من الماغما الأصلية الواحدة. فتترسب الفلزات الفقيرة في السيليكا (القاعدية أو الأساسية) أولا عند درجات الحرارة العالية، (أعلى من 1000ºم) وذلك لأنها أقل الفلزات ذوبانا، وتكون صخرا أساسياً. ويبقى بعد تشكل هذه البلورات ماغما لها تركيب يختلف عن الماغما الأصلية ومنها يمكن أن يتكون صخر وسط بالمحتوى بالسيلكا، ومن الماغما المتخلفة بعد هذا يتكون صخر حامضي (أي يتكون من فلزات غنية بالسيليكا إلى جانب وجود الكوارتز) عند درجات حرارة بين 600º، 900ºم تقريبا وليس من الضروري بتاتا أن توجد فواصل بين هذه الأنوع الثلاثة، بل ربما يحدث أن يكون هناك تدرجا كاملا بين نوع وآخر.

الفلزات المكونة للصخور النارية: وتنقسم الفلزات الهامة المكونة للصخور النارية إلى قسمين:

1-فلزات أساسية: توجد في الصخور بكميات كبيرة والتي يتوقف عليها خواص الصخر واسمه وتشمل الفلزات الأساسية مايلي: الفلسبارت، البيروكسينات، الأمفيبولات، الميكا، الأوليفين، الكوارتز.

2-فلزات إضافية ثانوية: توجد بكميات صغيرة، وعلى ذلك لا تؤثر كثيرا في خواص الصخور. وتشمل هذه الفلزات الإضافية الماجنتيت، الألمينيت، البيريت، الأباتيت، الزركون، الروتيل، السفين.Sphene ($CaTiSiO_4$)

تصنيف الصخور النارية

اتخذت نسبة ثاني أكسيد السليكون أساسا لتصنيف الصخور النارية كيميائيا :

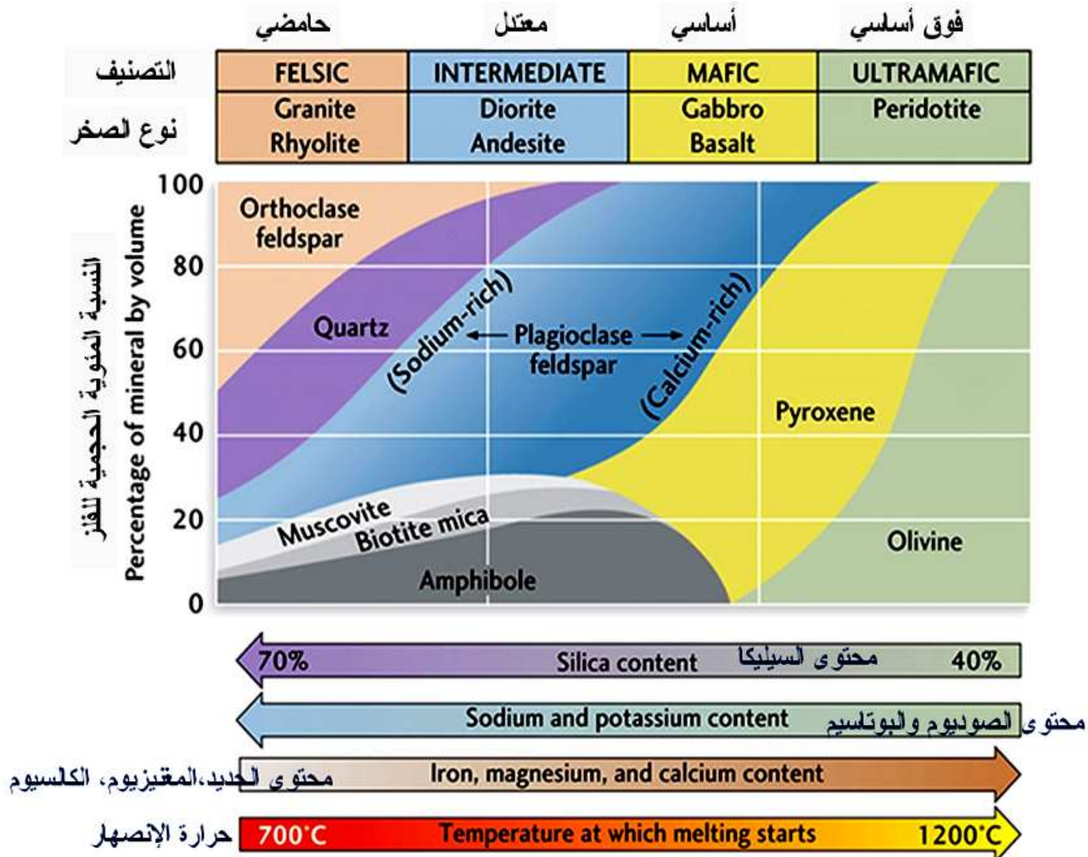
1- صخور حامضية Acid rocks وهذه تحتوي على نسبة من السليكا أكثر من 65% (من 65% - 80%). لون هذه الصخور فاتح، ومن أمثلتها الجرانيت والجرانوديوريت والريوليت والأبليت والفسليت.

2-صخور متوسطة الحموضة Intermediate rocks نسبة السليكا بها بين 52% و 65%، ونسبة الحديد والمغنزيوم بها متوسطة. ولونها أغمق من الصخور الحامضية. ومن أمثلتها الديوريت والأنديسيت والسيانيت والتراكيت.

3-صخور أساسية Basic rocks نسبة السليكا من 52- 45% ونسبة الحديد والمغنزيوم بها أعلى من النوعين السابقين، ولونها أغمق يميل إلى السواد. ومن أمثلتها الجابرو والبازلت.

4-صخور فوق أساسية ultra-Basic rocks نسبة السليكا بها أقل من 45% ونسبة الحديد والمغنزيوم بها عالية، ولونها غامق مزرق أو مخضر. ومن أمثلتها البيرودوتيت.

ويوجد صخور تتبع لمجموعة **الصخور القلوية**، التي فيها زيادة ملحوظة بالقلوية حتى 20% وبكمية قليلة من السيليسيوم (40-55%). أي هناك زيادة في K_2O,Na_2O بالنسبة لـ Al_2O_3.



لون- نسيج- بنية الصخور النارية: مما سبق يتبين لنا أن لون الصخرالناري يختلف تبعا للتركيب الكيميائية والفلزي، وعلى ذلك يمكن استعمال هذه الخاصية في التفرقية بين أنواع ثلاثة من الصخور النارية: صخور فاتحة اللون (حمضية)، وصخور متوسطة اللون (متوسطة)، وصخور قاتمة اللون (أساسية وفوق أساسية).

وكما تختلف الصخور النارية لدرجة كبيرة بالنسبة لتركيبها الفلزي والكيميائية فإنها تختلف أيضا بالنسبة إلى حجم البلورات والحبيبات المكونة لها وبالنسبة لطريقة ترتيبها وترابطها، وتعيين هذه الخواص المختلفة للفلزات المكونة للصخر الناري وعلاقتها ببعضها البعض هو تعيين لخاصيتي البنية والنسيج، فالنسيج يعبر عن توزع المكونات الفلزية في الفراغ وطريقة تجميعها لتشكل الصخر. والبنية تحدد من خلال درجة التبلور والمقاييس النسبية للحبات الفلزية وأشكال الحبات الفلزية.

حسب درجة التبلور نميز بين: -بنية تامة التبلور

- بنية غير تامة التبلور
- بنية خفية التبلور
- بنية زجاجية

وحسب المقاييس النسبية للحبات نميز بين : بنية حبيبية تامة متجانسة وبنية حبيبية تامة غير متجانسة (البورفيرية)

وتتوقف درجة التبلور على السرعة التي بردت بها الماغما:

1- فالصخور التي تكونت في **جوف الأرض** لابد أنها بردت ببطء شديد يسمح بنمو البلورات وكبر حجمها أثناء تجمد الماغما، وينتج عن ذلك أن يتكون للصخر المتبلور في مثل هذه الظروف، أي في مناطق بعيدة عن السطح، **بنية خشنة**، ويمكن رؤية مكوناته الفلزية وتمييزها بكل سهولة بواسطة العين المجردة – مثل هذه الصخور التي تعرف عادة باسم الصخور الجوفية

2- أما إذا ظهرت الماغما على **سطح الأرض** في هيئة حمم فإنها تبرد وتتجمد بسرعة. وتحت هذه الظروف لا تجد البلورات الصغيرة البادئة في التكون فرصة للنمو. ويحدث أن يتكون صخر دقيق الحبيبات، ويعرف النسيج بأنه **بنية دقيقة الحبيبات**، ويمكن تمييز البلورات في هذه الحالة بواسطة عدسة مكبرة. أما إذا لم يمكن تعيين البلورات إلا بمساعدة المجهر فنسمي بنية الصخر الناري في هذه الحالة باسم **بنية مجهرية التبلور**،وهناك بعض الحالات لا يمكن تمييز البلورات فيها حتى بالمجهر العادي وفي هذه الحالة تسمى بنية الصخر الناري **بنية خفية التبلور**.

وتتفق جميع هذه الانواع المختلفة السابقة من البنية في أن جميع بلوراتها متساوية تقريبا في الحجم، ولذلك يقال أنها متساوية الحبيبات أو منتظمة الحبيبات ولكن هناك صخور يظهر فيها ما يسمى **بالبنية البورفيرية**، وفي هذه الحالة نجد عددا من البلورات الأكبر حجما موزعة في أرضية (قاعدة) مكونة من حبيبات أكثر نعومة. وتسمى البلورات الكبيرة في هذه الحالة باسم الفينوكريست Phenocrysts .

يميز الصخور العميقة والمندسة التي تتوزع الحبات فيها بشكل كيفي ومتساو في كتلة الصخر نسيج يدعى **النسيج الكتلي**، وهو النسيج الغالب في الصخور الاندفاعية. تحتوي بعض الصخور النارية على نسيج انسيابي ناتجة عن وجود بعض بلورات الفلزات المكونة للصخر موازية لبعضها البعض تقريبا، ومرتبة في اتجاه واحد، وينتج هذا البناء من تحرك الماغما التي تبلور

جزء منها، أي أن البلورات كانت موجودة في وسط مائل متحرك ثم رتبت نفسها في اتجاه الحركة، إنه **النسيج التدفقي (السيلاني)** الذي يظهر ترتيب الفلزات في الصخر باتجاه حركة الصهارة المغماتية قبل أن تتصلب.
وفي الصبات البركانية السميكة نلاحظ أن الاجزاء الخارجية (التي تلامس الهواء وسطح الأرض) ذات بنية زجاجية لأنها بردت بسرعة، بينما تكون الأجزاء الداخلية دقيقة التبلور أو مجهرية التبلور. وعندما تتمدد الغازات في الطفح البركاني وتهرب منه في النهاية فإنها تترك فراغات في الصخر الناتج تعرف باسم الفقاقيع، وينتج ما يسمى **بالنسيج الفقاعي أو الفراغي**. وقد تمتلئ هذه الفقاقيع بفلزات ثانوية ترسبت من محاليل مرت بهذه الفقاقيع فيتكون مايسمى **بالنسيج اللوزي**.



شكل ووجود الصخور النارية في الطبيعة

تتصل الماغما أو المادة المصهورة إما في جوف الأرض أو على سطحها أو بين هذا وذاك. يمكن تصنيف الصخور النارية على أساس مكان تكوينها إلى صنفين:
1-الصخور المغماتية المندسة (جوفية):وهي التي تصلبت على أعماق كبيرة في جوف الأرض تحت عوامل من الضغط والحرارة جعلت التبريد بطيئا وبذلك تمكنت الفلزات المكونة لها من التبلور تبلورا ظاهرا أي أنها ذات نسيج خشن. ومن أمثلة هذا النوع صخور الجرانيت والديوريت والجابرو. وتوجد الصخور الجوفية في هيئة كتل ضخمة جدا تبلغ مئات الكيلومترات المربعة في المساحة وتتسع قاعدتها كلما تعمقنا إلى أسفل وتعرف هذه الكتل من الصخور النارية الجوفية باسم باثوليت Batholith وتتكون هذه الكتل في العادة من صخور الجرانيت والأحجام الصغيرة من هذه الكتل الصخرية النارية تعرف باسم ستوك Stock وهذه الأخيرة تبلغ مساحتها من 1 إلى 40 كم مربعا فقط. ويرجع ظهور هذه الأشكال المختلفة من الصخور الجوفية على سطح الأرض الآن بسبب عوامل التعرية التي فتت وحللت ثم جرفت وأزالت طبقات الصخور المختلفة التي كانت تعلوها، وكذلك العوامل التكتونية (الحركات الأرضية) وكلها أدت إلى ظهور هذه الصخور الجوفية العميقة.

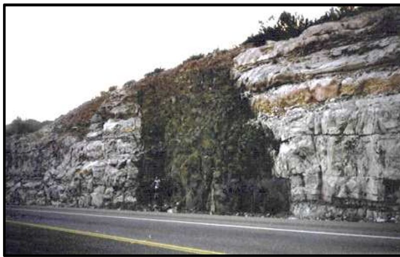
2-الصخور المغماتية المندسة تحت السطحية: التي دخلت في صخور وبين طبقات القشرة الأرضية وتصلبت قريبا من السطح مما أدى إلى بروتدها بسرعة أكثر من الجوفية العميقة ولذلك فإن بلوراتها دقيقة أو متوسطة وبنيتها دقيقة التبلور. وقد يكون هناك بعض البلورات التي قد نمت في الماغما في جوف الأرض ثم انتقلت من الماغما المكونة لهذه الصخور تحت السطحية حيث أصبحت كبلورات كبيرة تحيط بها بلورات أصغر تكونت عندما تجمدت الماغما بالقرب من السطح. ويكون لمثل هذه الصخور بنية بورفيرية. ومن أمثلة الصخور تحت السطحية البورفيريت والفسليت والدوليريت. وتوجد هذه الصخور تحت السطحية في الطبيعة في هيئة قواطع أفقية أو شاقولية، والأولى عبارة عن كتل مسطحة من الصخور النارية نتجت من تدخل الماغما وتجمدها بين طبقات الصخور المحيطة. أما الثانية فقد نتجت من تدخل الماغما في الشقوق والكسور القاطعة للطبقات حيث تجمدت. وهي في ذلك الوضع تشبه الحائط الضيق نسبيا ذي الوجهين المتوازيين. ويتروواح سمك هذه القواطع من سنتيمرات قليلة إلى مئات الأمتار، ولكن الغالبية العظمى لا يزيد سمكها عن خمسة أمتار. وقد تكون الأجسام النارية تحت السطحية في شكل ناقوص، وتعرف باسم لاكوليت.



الباتوليت: ولها الميزات التالية:
-أجسام مندسة ضخمة جداً (طول 500كم وسماكة 4كم)
-توضع عميق في القشرة الأرضية
-شكل غير منتظم
-تركيبها غرانيتي
-تنتشر في مناطق السلاسل الجبلية العظمى
-ذات بلورات خشنة



الستوكات أو الخزانات المهلية: ولها الميزات التالية:
-أجسام مندسة ضخمة (طول أقل من 100كم- سماكة 4كم)
-توضع عميق في مناطق تقاطع الصدوع
-شكل غير منتظم و تشكل فروعاً للباتوليت
-تركيبها متفاوت من حامضي إلى فوق أساسي
-ذات بلورات خشنة ولكن أقل جودة من الباتوليت



الدايكات أو القواطع: ولها الميزات التالية:
-عروق مندسة تقطع الطبقات والصخور التي في طريقها شاقولياً.
- تمتد أحياناً لعدة كيلومترات مستخدمة الشقوق الموجودة سابقاً في الصخور
-لها شكل منتظم مسطح



اللاكوليت: ولها الميزات التالية:
-جسم مندس ذو سطح سفلي مستوي وسطح علوي محدب.
-تمتد من عدة مئات من الأمتار وأحياناً لعدة كيلومترات
-تتشكل من لافا لزجة تتجمع في مكان واحد وترفع الصخور التي تعلوها وتجبرها على التحدب.



االسيل أو الدايكات الأفقية ولها الميزات التالية:
-جسم مندس مسطح يدخل بين الطبقات الرسوبية وبشكل مواز لها. -تكون الصخور النارية بشكل أشرطة بين الطبقات الرسوبية

3-الصخور المغماتية المخترجة (سطحية): وهي الصخور التي تصلبت على السطح قرب فوهات البراكين، أو الشقوق، التي خرجت منها اللافا إلى السطح. وقد بردت اللافا بسرعة فتجمدت بسرعة ايضا لم تسنح للبلورات أن تنمو إلى حجم كبير أو أن تتكون بالأصل، فتنتج في الحالة الأولى بنية مجهرية التبلور، أو خفية التبلور ونتج في الحالة الثانية بنية زجاجية (غير متبلورة). ومن أمثلة هذه الصخور الريوليت والأنديسيت والتراكيت والأبسيديان والبازلت. وتظهر هذه الصخور البركانية في هيئة صبات لافيةLava flows ، وهي كتل من الصخور النارية البركانية منتشرة على مساحات واسعة وسمكها بسيط ولذلك فإنها تشبه الصفائح. ويمكن القول أن <u>الصخور المغماتية المخترجة تتميز بـ:</u>

1-أنها ناتجة عن وصول الماغما إلى سطح الأرض حيث تخرج من فوهات البراكين لتسيل على سطح الأرض وتملئ المنخفضات.

2-تشكل أغطية مسطحة من الصخور البركانية تدعى الصبات البركانية.

3- بنيتها مجهرية التبلور أو زجاجية. و.يكون محتواها منخفضاً بالسيليس عادة.

4-تعتمد سرعة انتشارها الأفقية على لزوجتها حيث اللافا الأكثر لزوجة تكون أقل انتشاراً.





وصف بعض أنواع الصخور النارية الشائعة:

1-الصخور فوق الأساسية : الفلزات الرئيسية فيها: الأوليفين – البيروكسين . فلزاتها عاتمة و ذات كثافة عالية نسبياً. هي صخور أعماق. من صخورها: البيروكسينيت والدونيت والبيرودوتيت.

البيريدوتيت Predotite

- صخر ناري
- جوفي
- فوق أساسي
- داكن اللون-مخضر
- خشن التبلور
- يتركب من فلز الأولفين و البلاجيوكلاز الكلسي بشكل ثانوي



2-صخور أساسية: الفلزات الرئيسية فيها: البلاجيوكلاز – البيروكسين فلزات خضراء عاتمة أو سوداء اللون، وهي صخور سطحية بشكل رئيسي وتوجد في الأعماق و بشكل عروق**. من صخورها: الغابرو والبازلت والدياباز.**

الغابرو Gabbro
- صخر ناري
- جوفي
- قاعدي
- قاتم اللون
- خشن التبلور
- يتركب من البلاجيوكليز كلسي
- (الأنورثايت أكثر من 50%)
- وبيرو كسين و/ أو
- نسبة قليلة من الهورنبلند

البازلت Basalt
- صخر ناري
- سطحي
- قاعدي
- قاتم اللون
- ناعم التبلور
- يتركب من البلاجوكليز كلسي (الأنورثايت أكثر من 50%) وبيروكسين وأو نسبة أقل من الهورنبلند

3-صخور معتدلة الحموضة :الفلزات الرئيسية فيها: البلاجيوكلاز المتوسط والهورنبلاند أو البلاجيوكلاز القلوي- والأورتوكلاز ، فلزات ذات لون رمادي مخضر-فضي مسود- بني وهي صخور سطحية و عميقة و عروق. **من صخورها:** ديوريت وانديزيت والسيانيت .

السيانيت Synite : صخر له نسيج حبيبي منتظم ولونه فاتح ويتكون بصفة اساسية فلزات الفلسبارات البوتاسية والأوليغوكلاز وكميات قليلة جدا من الهورنبلند والبيوتيت والبيروكسين. وهو في هذه الحالة يشبه الجرانيت إلا أن نسبة الكوارتز أصبح قليلة جدا حيث لا تعدو 5%، وأصبح وجوده غير أساسي في تركيب الصخر. أما إذا زادت نسبة الأوليجكوكليز عن الفسبار البوتاسي فيصبح اسم الصخر مونزونيت .Monzonite وقد يوجد فلز النيفلين Nephline في صخر السيانيت بنسبة 5% وفي هذه الحالة يعرف الصخر باسم سيانيت نيفيلني. والنيفلين (NaAlSiO4)فلز ذو بريق صمغي (أو شحمي) ويشبه الكوارتز ولكنه يمتيز عنه بصلادته الأقل (من 5.5 – 6). وتحتوي بعض صخور السيانيت على فلز كوراندو.(Al2O8)

الديوريت Diorite : صخر له نسيج حبيبي منتظم ولون يميل إلى الداكن ويتميز بوجود البلاجيوكلاز (أوليجوكليز أو انديسيين)، أما الكوارتز والأرثوكليز فلا يوجدان. أما البيوتيت فقد يوجد بكمية قليلة، والبيروكسينات نادرة الوجود في هذا الصخر. أما الفلزات الإضافية فتشمل الألمينيت والأباتيت ويغلب على الصخر – كما قلنا – اللون الداكن نظرا لوجود الفلزات الداكنة (الحديدومنغنسية) بكميات غير قليلة.

ديورايت Diorite

- صخر ناري
- جوفي
- متوسط الحموضة
- متوسط اللون
- خشن التبلور
- يتركب من بلاجوكليز متوسط
- (الأنورثايت أقل من 50%)
- ونسبة أقل من الهورنبلند وكذلك البيوتايت

4-صخور حامضية: الفلزات الرئيسية فيها: الكوارتز –الأورتوكلاز- البلاجيوكلاز البيوتيت ، فلزات فاتحة اللون- كثافة قليلة نسبياً، صخور سطحية وفي الأعماق و عروق. من صخورها: الغرانيت والريوليت والبغماتيت .

غرانيت Granite

- صخر ناري
- <u>جوفي</u>
- حامضي
- فاتح اللون
- خشن التبلور
- يتركب من كوارتز وصفاح بوتاسي (ارثوكلاز) وبلاجيوكلاز صودي
- ونسبة أقل من الميكا او الهورنبلند

الريوليت Rhyolite

- صخر ناري
- <u>سطحي</u>
- فاتح اللون
- ناعم التبلور
- يتركب من كوارتز و صفاح بوتاسي
- وبلاجيوكلاز صودي
- ونسبة أقل من الميكا واو الهورنبلند

مكامن الخامات المفيدة والصخور النارية:

<u>الصخور فوق الأساسية</u>: خامات الحديد والكروم والنيكل والمغنيزيوم ، الألماس ، الأسبستوز والتالك .

<u>الصخور الأساسية</u>: التيتانيوم الحديدية والنحاس

<u>الصخور الحامضية</u> : الذهب والنحاس. و خامات القصدير والنحاس والرصاص (المرحلة الهيدروترمالية).

الصخور الرسوبية

الصخور الرسوبية هي الصخور الناتجة من تجمع طبيعي لفلز أو أكثر تنتج من عمليات تكسير أو إذابة الفلزات في الصخور الأقدم بواسطة عوامل التعرية والتجوية، ثم النقل كحبيبات آو مواد مذابة بواسطة عوامل النقل مثل الماء أو الهواء ثم الترسيب في أحواض الترسيب سواء كانت بواسطة الجاذبية أو بالتبخر فيتشكل الصخر الرسوبي . تغطي الصخور الرسوبية أكثر من 75% من سطح الأرض، وتشكلت على سطح الأرض نتيجة تخريب الصخور الموجودة سابقاً، أي ذات منشأ مرتبط بالعمليات الخارجية. إن المسرح الكبير الذي تتم فيه عملية الترسيب هو البحر والقارة معاً. فأحواض البحار والمحيطات، مبتدئة من الشواطئ الضحلة للقارات حتى أعمق الأعماق، هي مآل ونهاية الشوط لإنتقال المواد المفتتة والمتآكلة من الصخور بواسطة الأنهار في معظم الحالات. وتترسب معظم الرواسب التي يبلغ وزنها ملايين الأطنان سنويا في المياه الضحلة، قريبا من الأرض، وفي مدى 200 – 300 كيلومترا من الشاطئ، أما بعيدا عن ذلك، وعلى قاع البحار والمحيطات فتتراكم الرواسب الدقيقة لأصداف حيوانات مجهرية. أما في القارة في البحيرات الداخلية فإنها تتلقى رواسب من الأنهار التي تصب فيها وكذلك من الرياح. وهناك في بعض البحيرات تترسب رواسب من الملح أو الجبس (كربونات الصوديوم المائية) نتيجة لبخر مياه البحيرة. وهناك على سهول الفيضانات وشواطئ الأنهار تترسب كميات ضخمة من الرواسب النهرية. أما في البحيرات الضحلة، والمستنقعات في المناطق الإستوائية الرطبة، فتتراكم المواد النباتية لتتحول فيما بعد إلى صخور الفحم. وهناك رواسب أخرى تترسب مباشرة على الأرض. فعند حواف الهضاب والجبال تتراكم أكوام من المواد الصخرية المهشمة. وفي الصحاري تتراكم أكوام ذات أشكال مختلفة من الرمال والأتربة التي تذروها الرياح، وتنقلها من مكان إلى آخر. والتي تعرف باسم الكثبان الرملية.

خواص الصخور الرسوبية

تتميز الصخور الرسوبية بصفة عامة بالخواص الآتية:

1- وجودها في هيئة طبقات، وتتميز هذه الطبقات عن بعضها البعض باللون والسماكة والنسيج، وقد تكون الطبقات أفقية أو مائلة أومجعدة.

2- احتوائها على المستحاثات، وقد تكون هذه كبيرة أو مجهرية.

3- احتواء على بعض المواد الفلزية الخاصة كالبترول والفوسفات والفحم.

4-احتواء أغلبها على مسامات، ولهذه المسامات أهمية كبرة في احتواء البترول والمياه الأرضية، والمحاليل المشبعة بالمواد الفلزية، وكذلك في تخزين الغازات الطبيعية التي توجد تحت سطح الأرض.

مراحل تشكل الصخور الرسوبية:

أولاً-مرحلة تشكل المادة الأولية المفككة (التجوية)

تشكل **الصخور الرسوبية** عن صخور أخرى بفعل عمليات التجوية السطحية (التحطيم الميكانيكي و الفساد الكيميائي) أو ما يعرف بعمليات **التجوية** (هي العملية الأولى لتشكل الصخور الرسوبية) وهي على نوعان:

1-التجوية الفيزيائية: تحطيم ميكانيكي للصخور تحت تأثير عوامل فيزيائية مختلفة تعاقب فترات الجفاف والرطوبة- تغيرات الحرارة المفاجئة- فعل المياه والرياح والجليد .

2-التجوية الكيميائية: فساد الصخور وتغيير تركيبها الكيميائي تحت تأثير المياه والغازات الجوية والحموض العضوية عن طريق عمليات كيميائية: الأكسدة – الإماهة – حلمهة**...**

ترتبط التجوية الفيزيائية و الكيميائية فيما بينها في نفس الوقت، ويحدثان على اليابسة وفي البحار.

ثانياً-مرحلة النقل والتوضع لهذه المادة الفتاتية

بعض نواتج الحت والتجوية تبقى في مكانها، والجزء الغالب ينقل بالتيارات المائية والرياح إلى أحواض ترسيب على شكل مواد صلبة أو منحلة ليتم ترسيبها بتمايز وترتيب محدد. وهو على نوعان أيضاً:

تمايز ميكانيكي: ترسيب جزيئات الصخور تبعاً للحجم والشكل والكثافة. أولاً تترسب الكتل والجلاميد ثم الحصباء ثم الحصى ثم الرمال ثم السيلت ثم الغضار.

تمايز كيميائي: ترسيب المادة المنحلة في الماء ويرتبط ذلك بالشروط الفيزيا-كيميائية مثل التركيز و درجة الحرارة و حموضة الوسط. حيث تترسب أولاً أكاسيد الحديد ثم أكاسيد المنغنيز ثم السيليكا ثم سيليكات الحديد ثم الفوسفوريت كربونات الكالسيوم ثم الجص والملح الصخري وأملاح البوتاسيم .

ثالثاً-مرحلة اكتساب الصفة الصخرية (دياجنيز)

تخضع التوضعات أو الرسوبات لجملة من التحولات الفيزيا-كيميائية محولة إياها إلى صخور رسوبية. يطلق تعبير **دياجنيز** على مجموع العمليات الفيزيا-كيميائية التي تطرأ على الرسوبات الطرية فتكسبها الصفة الصخرية. وهذه العمليات هي:

1-**تراص الرسوبات** وانخفاض مساميتها و التخلص من المياه المتداخلة بعملية تدعى التضاغط .

2- يتم لحام بين الحبات المكونة للرسوبات بواسطة المواد المنحلة في المياه المتداخلة معها بعملية تدعى **اللحام والسمنتة**. قد يكون اللحام كلسياً أو سيليسياً أو حديدياً أو غضارياً،

التغيرات التي تطرأ على الرسوبات أثناء مرحلة الدياجنيز:

تغيرات ما قبل الدفن أو الطمر:

تؤثر الكائنات الحية على الرواسب حيث تقوم الكائنات الحية بتثبيت الفلزات ضمن أجسامها والتي تتراكم بعد موتها لتشكل صخوراً مثل الفوسفات و البترول.

تتكون بعض الفلزات كيميائية النشأة مثل البيريت و الفوسفوريت.

تغيرات مبكرة للدفن:

يستمر تكون فلزات جديدة من مكوناتها الأولية وتحصل عمليات الأكسدة للمواد الهيدروكربونية.

يبدأ تشكل اللحام الأولي بين الحبات الصخرية. كذلك يبدأ تحول الأراغونيت إلى كالسيت.

تغيرات متأخرة الدفن:

تكتمل التغيرات التي بدأت سابقاً في المرحلة المبكرة للدفن حتى يتحول الصخر الهش إلى صخر متماسك. و يمكن أن تحدث عمليات انحلال و استعاضة (بتحول فلز إلى آخر عن طريق دخول عنصر كيميائي في الشبكة البلورية لفلز ما، مثل عملية الدلمتة لفلز الكالسيت).

البيئات الرسوبية: هي أجزاء ومناطق من سطح الأرض تتميز بشروط فيزيائية وكيميائية وحيوية أثرت في الرسوبات التي توضعت فيها.

شروط فيزيائية: سرعة واتجاه الرياح والأمواج و تغيرات الطقس والمناخ وكذلك عمق الوسط المائي وشكل قاع حوض الترسيب.

شروط كيميائية: التركيب الفلزي للماء الذي يغطي البيئة الرسوبية تحت المائية، التركيب الكيميائي للصخور المحيطة.

شروط حيوية: الكائنات الحيوانية و النباتية في البيئة. مثلا المرجانيات في البيئة المائية تشكل رواسب الشعاب المرجانية. وجود النباتات في البيئة القارية تقلل من تأثير الحت والعكس صحيح.

تقسم بيئات الترسيب إلى ثلاثة أقسام:

بيئة قارية: تتجمع الرواسب على اليابسة.

بيئة بحرية: تتجمع الرواسب على قاع البحر.

بيئة انتقالية: مناطق هامشية بين القارة والبحر (تتأثر بتغيرات مستوى البحر).

تعتبر البيئات البحرية من أهم البيئات وذلك لإمكانية الحفظ الجيد لها على عكس القارة حيث التجوية النشطة.

وتقسم الرواسب إلى قسمين:

1-رواسب قارية: وهي مواد من نواتج التجوية من سطح اليابسة و تتراكم في منخفضات وقيعان البحيرات والأنهار. وقد تتراكم المواد المحمولة بالرياح لتشكل الكثبان الرملية. كذلك المواد المنقولة بالأنهار تتراكم في مناطق السهول الفيضية والدلتاوات، كذلك الأنهار الجليدية .

2-رواسب بحرية: وهي مواد من نواتج التجوية التي تتراكم في قيعان المحيطات والبحار. قد تكون هذه المواد منقولة من أماكن حت وتفتيت الصخور القديمة كجزيئات صلبة غير منحلة أو قد تكون مواد منحلة وذائبة في مياه الأنهار التي تنقلها الى مياه البحر.

تقسم الرواسب البحرية إلى:

أ- رواسب شاطئية: تشكل الرمال 95% من الرواسب الشاطئية. وهي ناتجة عن نشاط الأمواج و المد والجزر والتيارات البحرية. و تشكل الرواسب الحصوية أيضا جزءا هاما من الرواسب الشاطئية، حيث تتميز بالتصنيف و الاستدارة الجيدة.

ب- رواسب المياه الضحلة: حيث الرواسب تمتد من الشاطئ حتى عمق 200م (المنحدر القاري). ونميز هنا بين رواسب:

- الرف المفتوح: تتميز الرسوبات بتناقص حجمها باتجاه داخل البحر. وهي رواسب رقيقة التطبق.
- الرف المحجوز: تتميز برواسب البرك ورواسب الحواجز الرملية ومسطحات المد والجزر.

ج- رواسب المياه البحرية العميقة: رواسب في أعماق تزيد عن 200م. و هنا المنحدر القاري المصدر الرئيس للرواسب العميقة. وهنا نوع الرواسب يعتمد على البعد عن اليابسة أكثر من اعتمادها على العمق. فهنا لدينا رواسب طينية حمراء و رواسب تيارات العكر بالقرب من القارة، و رواسب الأوحال الكلسية و الأوحال السيليكاتية و رواسب المنغنيز (عقد) بعيدا عن القارة .

التركيب الكيميائي والفلزي للرسوبيات والصخور الرسوبية: التركيب الكيميائي للصخور الرسوبية أكثر تنوعاً من الصخور الإندفاعية و ذلك بسبب تنوع نواتج التجوية والتحولات التي تطرأ عليها في المحاليل و أثناء الدياجنيز. حيث نج الأكاسيد التالية الداخلة في

تركيبها: Sio2, Tio2, Al2o3, Fe2o3, Feo, Mgo, Mno, Cao, Na2o, K2o, H2o, P2o5, Co2, So3, Bao, C

تختلف الصخور الرسوبية في تركيبها الفلزي اختلافا كبيرا، فبعضها يتركب من المواد الكربونية مثل الفحم، وبعضها يتركب من كربونات الكالسيوم مثل الصخر الكلسي. وبعضها يتركب من مواد سليكاتية (كوارتز) مثل الصخور الرملية (الأرثوكوارتزيت)، وبعضها يتركب من فلزات مركبات السليكات المائية للألومنيوم (مثل الكاولين) كالصخور الطينية ويلاحظ **وجود الفلزات الآتية في كثير من الصخور الرسوبية**:

1- الكوارتز والأوبال والكالسيدوان: يكثر وجوده على الأخص في الرمل والصخور الرملية.

2- الكالسيت والدولوميت: يكثير وجوده في الصخور الكلسية كالحجر الكلسي والطباشير.

3- فلزات أكاسيد الحديد: يكثر الهيماتيت في الرواسب الحديدية الرملية، أما الماجنتيت فيوجد في رواسب الرومال السوداء.

4-الجص والأنهدريت والهاليت: ويكثر وجوده في رواسب البحيرات.

كما توجد فلزات ثانوية اضافية مثل الفلسبار والميكا والهورنبلند والثورمالين وغيرها من الفلزات المختلفة ولكن بكميات ضئيلة في بعض الصخور الرسوبية. وكذلك الأكاسيد والأكاسيد المائية للحديد– الألمنيوم- المنغنيز: الهيماتيت-الليمونيت-البيرولوزيت- مغنيتيت والفوسفات: الأباتيت فوسفات الكالسيوم، والسولفيدات: البيريت- كالكوبيريت. عناصر حرة: الكبريت. كما تشكل البقايا الحيوية: هياكل المتعضيات والمستحاثات جزاً من التركيب الفلزي للصخور الرسوبية.

لون الصخور الرسوبية: من التركيب الكيميائي والفلزي للصخور الرسوبية نجد أنها مكونة من فلزات فاتحة اللون وبيضاء بشكل أساسي: كوارتز – كالسيت- فلزات غضار- جص – الخ....لكن الصخور الرسوبية في الواقع متعددة الألوان العائدة لوجود مواد شائبة وملونة لها:

لون أسود وفضي: وجود مواد الكربون العضوي (وسط مرجع وهادئ الترسيب). وجود أكاسيد المنغنيز و كبريت الحديد (البيريت). لون بني-أصفر-برتقالي- ومشتقاتها: وجود أكاسيد الحديد (وسط مخضوض ومؤكسد)، لون أخضر: وجود الكلوريت والغلوكونيت.





سحنة الصخور الرسوبية: السحنة هي مجموع الصفات والخصائص الليتولوجية والباليونتولوجية (المستحاثية) التي تسمح بتحديد وحدة صخرية معينة وشروط توضعها. نقول سحنة حصوية رملية في صخور الشاطئية البحرية وسحنة رملية غضارية في المناطق الأعمق وسحنة كلسية عميقة و نقول سحنة مياه ضحلة لحجر كلسي يحوي مستحاثة معديات الأرجل أو نموليت... الخ.

تصنيف الصخور الرسوبية:

تصنف الصخور الرسوبية حسب المنشأ إلى:

1 -صخور حطامية (فتاتية) المنشأ: وهذه صخور مكونة من قطع مفتتة من صخور سابقة نقلت وترسبت دون أن يحدث لها تحلل كيميائي، وكل ما حدث هو تفتت الحبيبات والقطع وترسيبها بواسطة الرياح أو الأنهار أو تكوينها على سفوح الجبال وفي الوديان نتيجة لسقوطها بفعل الجاذبية من قمم الجبال. ومن أمثلة هذه الصخور الكونجلوميرات والرمل والغضار.

2 -صخور كيميائية المنشأ: وهذه صخور تكونت نتيجة مواد تخلفت بعد بخر المحاليل التي تذيبها وتحويها. ويغلب هذا النوع من الرواسب في المناطق الصحراوية الحارة حيث تتعرض مياه البحيرات إلى درجة كبيرة من البخر، ولا يعوض بخار الماء المفقود. وتشمل هذه الرواسب الملح والجبس وبعض أنواع الحجر الكلسي.

3 -صخور عضوية المنشأ: وهي نتيجة تراكم مواد خلفتها الحيوانات أو النباتات. ومعروف أن أغلب النباتات والحيوانات مكون من مواد صبة وأخرى رخوة، فإذا ماتت هذه الأحياء تعرضت الأجزاء الرخة للتحلل والفناء بينما تبقى المواد الصلبة إذا تراكمت تحت عوامل مناسبة كرواسب قد تتحول فيما بعد إلى صخور. وتشمل هذه الأنواع معظم الصخور الكلسية والطباشير (تتكون من أصداف ومحارات الحيوانات المختلفة) والفوسفات والفحم.

أولاً– الصخور الرسوبية الجطامية:

وتتميز بأنها: -نواتج التجوية الميكانيكية للصخور الأولية.

-أكثر أنواع الصخور الرسوبية انتشاراً.

-متباينة ظروف التشكل (قارية- بحرية).

-لها أهمية اقتصادية في مواد البناء- خزن المواد النفطية.

حسب مقياس المواد الحطامية في الصخور الحطامية نميز بين:

- الكتل والجلاميد: أكبر من 100مم
- الحصى: 2-100مم
- الرمال: 2-0,1مم
- الغرين (الرمل الناعم): 0,1-0,01مم
- الغضار: أقل من 0,01مم

حسب الشكل الهندسي للمادة الحطامية التجمعية نميز بين:

البودينغ: حصى بيضوية الشكل أو مستديرة ملساء، نقلت لمسافات بعيدة عن مصدرها الأم الأمر الذي ساهم بعملية صقلها. (يزداد الصقل و الاستدارة للحطام بزيادة مسافة النقل). يجمع الفتات المصقول بملاط رملي- كلسي- حديدي- الخ لتشكل صخر متماسك يدعى الكونغلوميرا، يتشكل البودينغ في مجاري الأنهار و في البحيرات و الشواطئ البحرية ومناطق الدلتات.

البريش: حصى زاوية الشكل، كسارات حادة الزوايا، لم تنتقل لمسافات بعيدة عن المصدر، يجمع بينها ملاط متنوع التركيب لتشكل صخر البريشيا.




أمثلة من الصخور الرسوبية الحطامية:

1- الكونغلوميرات Conglomerate: صخور مكونة من الحصى والرمل متماسك بعضها ببعض، والقطع الكبيرة منها مستديرة الشكل عموماً، نظرا لنقلها بواسطة الأنهار والمياه الجارية ويتدرج حجم القطع الصخرية المكونة للكونغلوميرات من حجم كبير (10 سم في القطر) إلى حجم صغير (يقرب من 2 ملليمتر في القطر).

2-الصخور الرملية Sandstones : يطلق لفظ رمل على كل صخر مفكك أو غير متماسك يختلف فطر حبيباته من 2 ملليمتر إلى 16/1 مم، ويصنف عادة إلى رمل خشن ورمل متوسط ورمل دقيق. فإذا تماسكت حبيبات الرمل كونت ما يسمى الصخر الرملي Sandstones والمادة التي تسبب تماسك الحبيات مع بعضها البعض قد تكون سليكات، أو كربونات (كالسيت) أو أكسيد حديد (هيماتيت أو جرنيت) أو مواد فلزية طينية دقيقة. وأهم الفلزات المكونة للصخر الرملي هو الكوارتز. فإذا احتوى الصخر على كمية كبيرة من الفلسبار فإنه يعرف باسم أركوز Arkose. وإذا كثر فلز الماجنتيت في الرمل أعطاه لونا أسود، ويسمى لذلك رملا أسود.

3-الصخور الحطامية الناعمة (اللوس): تتكون من حطاميات من مقياس صغير يقع بين الرمل والغضار. ألوانه فاتحة ، ومكون من الكوارتز (50%) والغضار (20%) والكلس (30%). تمتاز بمسامية ونفوذية عالية. منشأ اللوس ريحي. ملاطها كلسي أو سيليسي.

4-الصخور الغضارية: تتكون من حطاميات من مقياس صغير جداً (أقل من 0,01مم) بنسبة لا تقل عن 30% في الرسوبات، و قد تحوي حطاميات رملية وسلتية. الرسوبيات الغضارية هامة في الدراسات النفطية لانها تلعب دوراً في الصخور المولدة للمادة النفطية و تشكل صخوراً مغطية في المصائد النفطية. تترسب الصخور الغضارية في أماكن بعيدة عن المصدر (مكان التجوية) بعد التجوية طويلة الزمن حيث تتحول معظم السيليكات إلى فلزات غضارية (مونتموريلونيت وكاولنيت).

تستقر وتتوضع الرواسب الغضارية في مياه هادئة مثل:

-المحيطات والمناطق العميقة ، تعطي رواسب بحرية سحيقة العمق.

-الدلتات والبرك الشاطئية المعزولة، تعطي رواسب شاطئية أو بحرية ضحلة.

-السهول الفيضية للأنهار و البحيرات، تعطي رواسب قارية.

تتكون الصخور الغضارية من:

-فلزات غضارية: كاولين-إيليت-مونتموريلونيت-كلوريت.

-حبيبات فتاتية: من الكوارتز والميكا والفلزات الثقيلة (زيركون- تورمالين-غارنت).

-كربونات: غالبا كربونات الكالسيوم.

تصنيف الصخر الغضاري:

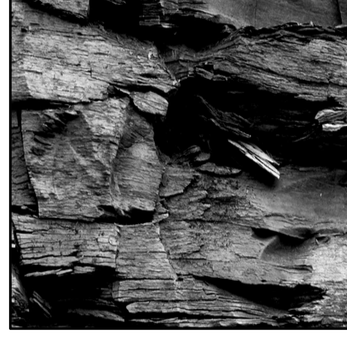
1- غضار نقي : فلزات غضارية فقط دون وجود كلس أو مادة عضوية.

2-مارل: و يحوي على كلس وغضار بالتساوي.

3-كلس غضاري: نسبة الكلس تزيد عن الغضار (الكلس يشكل 80%).

4- صخر غضاري عضوي: مواد عضوية ذات نسبة غالبة (90%) الباقي غضار، دون كلس.

5-الغضار الصفحي النفطي: مواد عضوية ذات نسبة غالبة (70%) الباقي غضار، دون كلس.




إن اللون الأسود الذي يغلب في كثير من الصخور الغضارية فيرجع إما إلى إنتشار مواد عضوية متحللة (الدبال) أو إلى وجود مواد نباتية متفحمة وهناك أنواع من الغضار يسودها اللون الأحمر أو الأصفر أو الأخضر لوجود مواد ملونة بها مثل أكاسيد الحديد أو المنغنيز أو سليكات الحديد.

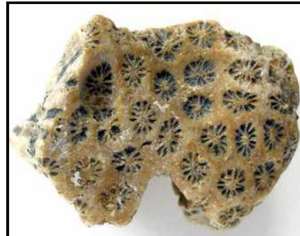
ثانيا – الصخور الرسوبية الكيميائية:

تتكون نتيجة ترسيب الأملاح المعدنية من المحاليل المائية عند تبخر المحاليل أو التفاعل معها. تتكون هذه الرواسب نتيجة لبخر المحاليل الملحية وتراكم المواد الفلزية من المحاليل. والفلز الذي يترسب أولا هو الفلز الأقل ذوباناً، أما الفلز الأكثر ذوبانا فيترسب في النهاية. ومن أهم أمثلة الصخور الرسوبية الكيميائية الجبس والملح والأنهيدريت. من أنواعها:

1-الصخور الكربوناتية: تتشكل من فلزات يدخل فيها الجذر Co3 ، مثل كربونات الكالسيوم والمغنيزيوم ، لها القدرة على خزن النفط. ترافق خامات هامة مثل الفوسفات لها منشأ حطامي و منشأ حيوي ومنشأ كيميائي.

الصخور الكربوناتية الحطامية: نتنج عن تحلل وتفكك الصخور الكربوناتية القديمة وتنقل بالغسل المائي أو الريحي على شكل حطام أو محاليل كربوناتية. لتتوضع في أماكن ترسيب على شكل كونغلوميرا كربوناتية أو رمال كربوناتي.

الصخور الكربوناتية العضوية: تثبت بعض الكائنات الحية الكربونات المنحلة في هياكلها (كربونات الكالسيوم)، وبعد موتها تشكل هذه الكائنات ترسبات كربوناتية. النباتات البحرية التي تستهلك غاز ثاني أوكسيد الكربون من الوسط المائي مما يؤدي لترسيب الكربونات. منها الكلس المرجاني- والروديستي .....

الصخور الكربوناتية الكيميائية: تترسب كربونات الكالسيوم عند انخفاض نسبة Co2 في المحلول المائي الحاوي على بيكربونات الكالسيوم. بالتالي تتشكل بلورات من الأراغونيت أو الكالسيت التي ترسو نحو القاع لتشكل أوحالاً كلسية تتحول لصخور بفعل الدياجنيز. تشكل الرسوبات الكربوناتية ملاطاً بين الحبيبات المفككة والحطاميات. من أنواع الصخور الكلسية الكيميائية نذكر: الطف أو الترافرتين والكلس البيوضي والصواعد والنوازل والدولوميت والمارل.

الطف أو الترافرتين: صخر كلسي يتشكل عند الينابيع الحارة ذات بنية فراغية مع بقايا نباتية أو حيوانية. وهو عبارة عن رواسب كلسية من أصل كيماوي ترسبت حول الينابيع الحارة على سطح الأرض. وتترسب نتيجة لفقدان المحاليل لغاز ثاني أكسيد الكربون وترسيب كربونات الكالسيوم.

الكلس البيوضي: بيوض صغيرة متمنطقة البنية تجمعها مادة لاحمة كلسية مجهرية. نواتها مادة حطامية أو عضوية. الصخر الكلسي الأووليتي Oolitic limestone هو أحد أنواع الصخور الكلسية ويتكون من حبيبات صغيرة (في حدود 2 ملليمتر على الأكثر) كروية الشكل، وتشبه بيوض السمك وقد ترسبت كيميائيا من مياه البحار والبحيرات المالحة تحت ظروف معينة، وتوجد نواة دقيقة (مكونة من ذرة من الرمل أو قطعة مكسرة من صدفة) داخل كل كرة صغيرة من هذه الكرات الكلسية.

الصواعد والنوازل: تتكون في الكهوف ضمن حرارة منخفضة. على شكل أعمدة مخروطية ميلورة. وهذه هي الفلزات المخروطية الشكل المكونة من بلورات الكالسيت والتي تتدلى من سقوف الكهوف الكلسية أو ترتفع قائمة على أرضية هذه الكهوف وقد ترسبت هذه الفلزات نتيجة لبخر محاليل المياه الأرضية المحتوية على حامض الكربونيك وكربونات الكالسيوم الهيدروجينية الذائبة فيها.

الدولوميت: Doloimites وهذه صخور رسوبية مكونة من فلز الدولوميت (كربونات الكالسيوم والمغنزيوم المزدوجة) وهي تشبه الحجر الكلسي إلا أنها أثقل قليلا منها وكذلك صلادتها أعلى قليلا، ولا تتفاعل بسرعة مع حامض الهيدروكلوريد البارد المخفف. ويعتقد أن كثيرا من رواسب الدولوميت قد تكونت نتيجة لتفاعل المحاليل المغنيزية أو المحاليل الأرضية مع الحجر الكلسي.

الدولوميت. له عدة مناشئ :

1-دلمتة الصخور الكلسية: إحلال المغنيزيوم محل الكالسيوم في الصخور الكلسية:



$$2CaCo3+ Mg = (CaCo3) (MgCo3)+Ca$$

هذا ما يزيد من المسامية للصخر لأن شاردة الكالسيوم أكبر من شاردة المغنزيوم مما يزيد المسامية بمقدار 8%

2-دلمتة الرسوبات الكلسية في مرحلة الدياجنيز المبكر.

3-الترسيب المباشر من المحاليل المائية.

المارل: صخر كلسي مع محتوى غضاري (30-50%) : كلس غضاري- غضار كلسي- مارل. منشأ بحري أو بحيري

2-الصخور الألومينية: تتكون من هيدروكسيدات الألمنيوم مع شوائب من أكاسيد الحديد والكربونات والكوارتز والغضار. منها: **اللاتريت:** وهي قشرة تجوية كيميائية للصخور الاندفاعية في شروط مناخ حار ورطب. لونها أحمر على هيئة ترابية وتشكل خامات الألمنيوم والحديد.

البوكسيت: وهي توضعات متبقية عن التجوية للصخور الاندفاعية، لونها أحمر وأبيض ورمادي و أصفر وتشكل خام الألمنيوم .





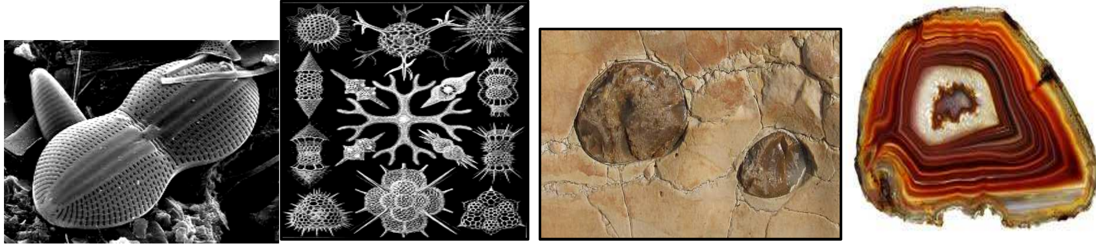
3-الصخور الحديدية: تنتج عن التجوية كما في صخور اللاتريت أو ترسيب من المحاليل المائية الغروية عند ظروف توفر للأوكسجين الحر.

4-الصخور المنغنيزية: انتشارها محدود، تنتج من ترسيب من اتحادات غروية في الأحواض المائية لأكاسيد المنغنيز مثل بيرزوليت وكربونات المنغنيز، لها لون أسود إلى فضي، وتوجد بهيئة ترابية – أوليتية – تخثرات في قيعان المحيطات.

5-الصخور السيليسية: وهي صخور مؤلفة من السيليس SiO_2 على شكل كوارتز أو أوبال.. وهي ذات قساوة عالية وذات منشأ كيميائي أو عضوي.

الصخور السيليسية ذات المنشأ الكيميائي: مثل الصوان والآغات.

الصخور السيليسية ذات المنشأ العضوي: مثل الدياتوميت والراديولاريت



6-الصخور الملحية:اتحادات هالوجينية وكبريتية للصوديوم والبوتاسيم والمغنيزيوم والكالسيوم مثل الجص والهاليت و تكون على شكل طبقات سميكة أو عدسات..تتشكل في الاغونات والخلجان البحرية و البحيرات في مناخ جاف.

الجص Gypsum وهو أول فلز يترسب بكميات كبيرة عند بخر مياه البحار، وتحت ظروف مواتية تتكون طبقات سميكة منه.

الأنهيدريت Anhydrite ويلي الجص في التكوين والترسيب من مياه البحر، ويوجد مكونا لطبقات مشابهة للجص، وغالبا يوجد الاثنان معا بالاضافة إلى رواسب أخرى ملحية.

الملح Salt يوجد في طبقات ذات سمك كبير وغالبا ما تكون البلورات واضحة، والملح يلي الجبس والانهيدريت في التبلور والترسيب من مياه البحر المتبخرة، ولذلك غالبا ما يكون الطبقات العليا للتكاوين الجيولوجية والتي تتكون من الجبس والأنهيدريت في الطبقات السفلى. وقد توجد مع بعض أنواع رواسب الملح رواسب من كلوريد البوتاسيوم.

7-الصخور الفوسفاتية: صخر مركب من فوسفات الكالسيوم مع مواد اخرى. وهذا الصخر يتكون في أول الأمر من تراكم عظام حيوانات فقارية بحرية وبرية من أسماك وزواحف تم تحويلها بمضي الزمن إلى فوسفات الكالسيوم (عظام الحيوانات البحرية تحتوي في المتوسط على نحو 60% من فوسفات الكالسيوم. وهي صخور الفوسفوريت (من فلز الأباتيت)، تكون على شكل طبقات رسوبية- توضعات عقدية لها منشأ عضوي ومنشأ كيميائي.

منشأ عضوي: ينتقل الفوسفور من التربة الى النبات ثم الى الحيوانات ثم بعد موتها ينقل الى أوساط الترسيب. وينتقل الفوسفور من مياه البحر الى الكائنات البحرية.. وبعد موتها تشكل تراكمات من الفوسفات.

منشأ كيميائي: مياه البحر تحوي على الفوسفات المنحل على عمق 500متر. ويترسب الفوسفور على عمق 50-150م أي أن الرصيف القاري هو الأكثر ملائمة لترسيب الفوسفات. إن انحلال الفوسفور يتناقص مع ازدياد الحرارة وتناقص Co_2 وبالتالي يزداد ترسيبه.

ثالثا – الصخور الرسوبية العضوية

وهي ناتجة عن تجمع الهياكل الحيوانية أو موادها العضوية والمواد النباتية ، أونتيجة نشاطها.

حسب التركيب نميز بين:

- الصخور الكربوناتية العضوية:
- الصخور السيليسية العضوية: راديولاريت
- الصخور الفوسفاتية
- صخور مواد الطاقة: فحم حجري-نفط

من أنواعها ندرس:

1-الفحوم الحجرية: صخور تتألف من بقايا نباتية متفحمة، تتشكل بعملية طويلة تمر بمرحلتين:

1-تراكم البقايا النباتية وفسادها بدون وجود الأوكسجين أو ندرته (وسط مرجع): وسط مثل قيعان البحيرات الراكدة، حيث تتشكل مادة عضوية صلبة غنية بالكربون (مادة دبالية)، التي تعطي التورف، المرحلة الأولى من التفحم، حيث تكون نسبه الرطوبة عالية قد تزيد عن 80% .

2- عملية التفحم: يتغطى التورف برسوبات غضارية أو رملية غضارية و تبدأ عملية نزع الماء منه. و تزداد كثافته (بالتراص)، ويتحول التورف إلى الليغنيت (فحم بني) مع تأثير البكتريا و بدرجات حرارة لا تزيد عن 60درجة مئوية. بذلك يزداد محتوى الكربون في الفحم وينقص الأكسجين. ليتحول الفحم البني إلى فحم حجري يتطلب ضغط كبير وحرارة في حدود 300درجة مئوية. أعلى درجات التفحم هي الانتراسيت حيث الرطوبة أقل من 2% .

نوع الفحم الحجري	C	H	N	O
الخشبين (للمقارنة)	50	6	1	43
التورب (الخث)	59	6	2	22
الفحم البني (اللغنيت)	69	5.5	0.8	25
الفحم القاسي	82	5	0.8	13
الأنتراسيت	95	2.5	آثار	2.5
الغرافيت	97-98	آثار	آثار	آثار







2-الصخر الكلسي العضوي: وهذه هي أهم أنواع الصخور الكلسية وأكثرها انتشارا في الأرض. ويرجع تكوينها إلى قدرة بعض أنواع الحياة من حيوانات ونباتات على استخلاص المادة الكلسية من مياه البحار التي تعيش فيها وتحويلها إلى محارات وأصداف لسكانها ووقاية أجسامها الرخوة. وتموت هذه الحيوانات والنباتات فتسقط محاراتها إلى قاع البحر وتكون رواسب كلسية وبمرور الزمن الطويل تتحول بالضغط إلى الصخور الكلسية. وتعرف الصخور الكلسية العضوية بأسماء مختلفة حسب نوع الأصداف أو المحارات الغالبة في تكوينها فمثلا يوجد حجر كلسي صدفي Shelly limestone أو مرجاني Coral limestone .




بنية الصخور الرسوبية:

تتحدد خصاص البنية بظروف التشكل ولكل نمط من الصخور بنيته المميزة:

-بنية الصخور الحطامية: وهنا توصف البنية حسب مقاس المواد الحطامية: بنية حطامية خشنة- بنية رملية – بنية غضارية- بنية مختلطة......

-بنية الصخور الكيميائية: وهنا توصف البنية حسب مقاس البلورات و وضوحها:

بنية متبلورة بشكل واضح: البلورات اكبر من 1مم.

بنية متوسطة التبلور: البلورات من 1-0,1مم.

بنية خفية التبلور: البلورات من 0,1-0,01مم.

بنية بيليتية: البلورات اقل من 0,01مم.

-بنية الصخور العضوية: وهنا توصف البنية حسب حجم وشكل ودرجة حفظ الأشكال العضوية

بنية قوقعية مشوهة و غير مشوهة. ......

نسيج الصخور الرسوبية

يصف ظروف التوضع وتغيراتها: يصف نسيج التطبق الداخلي ونسيج سطح الطبقة .

أولاً-نسيج التطبق الداخلي:

1- النسيج المتطبق: تتوضع الرسوبات بشكل طبقات متباينة بالتركيب أو اللون والتركيب الحبي و نميز هنا:

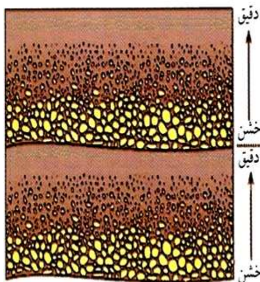
أ- التطبق المتوازي: حيث السطوح الفاصلة بين الطبقات المختلفة متوازية. وهو الحالة الشائعة من التطبق. ويعكس تغيرات ونشاط طفيف في حوض الترسيب.

ب- التطبق المائل: ويميز وسط ترسيب متحرك، حيث الطبقات تميل بزاوية بالنسبة لمجموعة طبقات أخرى. ينتج عن ترسيب من تيارات مائية أو ريحية ناقلة للحطاميات. يميز الرسوبات الرملية. و يميز هنا أنواع من التطبق المائل حسب مكان وظروف التوضع: التطبق الريحي.

التطبق في الأنهار الموسمية - التطبق في الأنهار الدائمة- تطبق الدلتات - تطبق البحيرات .

ج- التطبق المتدرج: يظهر فرز الحبات ضمن الطبقة حسب المقياس من الأسفل للأعلى.





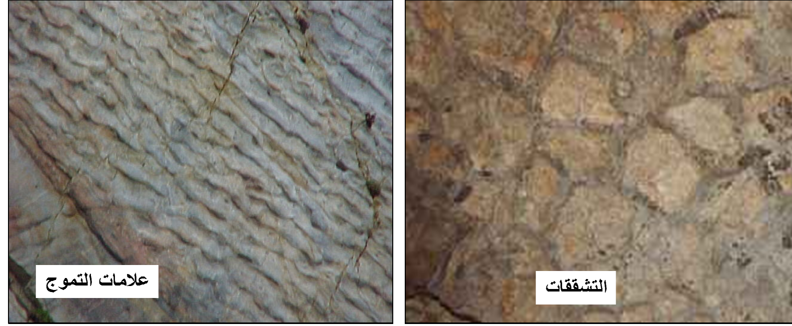
2-النسيج الكتلي: و يميز الصخور الرسوبية الكيميائية المنشأ بالدرجة الأولى. حيث يغيب فيها الفرز الحبي والتعاقب الدوري في العمود الطبقي. وتكون متجانسة الخواص في جميع الاتجاهات.

3-النسيج العشوائي: يميز صخور الركام الثلجي والصخور التجمعية الخشنة وصخور الانهيارات الأرضية.

ثانياً-نسيج سطح الطبقة:

1-علامات التموج: تموجات ضعيفة على سطح الطبقات خصوصاً الرملية الشاطئية، وتدل على اتجاه حركة التيارات البحرية.

2-التشققات: تشققات تشبه خلايا النحل ناتجة عن تغيرات فترات الرطوبة والجفاف خصوصاً في التوضعات الغضارية.



3- التخثرات الصخرية: أجسام صخرية شبه كروية الشكل توجد في الصخور الغضارية والكلسية وهي مختلفة التركيب عن الصخور المحيطة تتراوح أبعادها من عدة سنتيمترات إلى عدة أمتار. تتشكل مع الترسيب أو لاحق له (دياجنيزي).

4-الجيودات: أجسام كروية مجوفة تنتشر في الصخور الكربوناتية بشكل رئيس، تصل لعشرات السنتيمترات يكون نمو التبلور فيها نحو الداخل. تنشأ نتيجة إملاء الفراغات الناتجة عن انحلال البقايا العضوية أو غيرها.



5-انطباع حبات المطر والبرد: فجوات صغيرة كروية الشكل على سطح الرسوبات القارية المنشأ

6-آثار نشاط الكائنات الحية: مثل آثار زحف الكائنات الحية والحفارة في الرسوبات و آثار جذور النباتات في الترب الصخرية القديمة.

الصخور المتحولة

مفهوم التحول: هو إعادة تشكل الصخور الموجودة سابقاً، نارية ورسوبية ومتحولة، تحت تأثير العمليات الجيولوجية الداخلية. تتم إعادة التشكل في الحالة الصلبة، حيث يجري تغير في التركيب الفلزي أو حتى الكيميائي و كذلك بنية ونسيج الصخور الأولية. والصخور المتحولة هي تلك المشتقة من صخور أخرى، كانت صخوراً نارية، أو رسوبية، أو حتى متحولة، فتغير تركيبها الفلزي، وقوامها، وبناؤها، بفعل الضغط والحرارة العاليين، في أعماق القشرة الأرضية. والتحولات هذه، التي تشمل إعادة التبلور، والتفاعلات الكيماوئية بين المكونات الفلزية للصخر وتحدث في الحالة الصلبة، أساساً، إلا أنه قد يحدث بعض التبادل الكيميائي مع السوائل، وخاصة الماء H_2O. لذلك، تكون الظروف، التي تتكون فيها الصخور المتحولة، ظروفاً وسطاً، بين تلك التي تتكون فيها الصخور الرسوبية، على السطح، والظروف التي تتبلور فيها الصخور النارية، من الماغما. فالصخور المتحولة هي صخور طرأ عليها تغييرات فيزيائية (الحرارة أو الضغط أو كليهما) وكيميائية.

عوامل التحول: تشمل عوامل التحول الضغط، والحرارة، والسوائل الناشطة كيميائياً؛ وتعمل عليه، مجتمعة، في آن واحد.

1-عامل الحرارة: يعد الحرارة أهم عوامل التحول. وتتعرض الصخور، التي تكونت على السطح في درجة حرارة عادية، لحرارة شديدة عندما تتسرب إليها الماغما، من الأسفل. وعندما يحدث التغير، بهذه الطريقة، يطلق على العملية بالتحول التماسي. ويكون هذا النوع من التحول واضحاً جداً، عندما يحدث قريباً من السطح، حيث يكون التغاير في درجة الحرارة، بين الماغما المتداخل، والصخور السطحية، كبير جداً. ففي هذه الحالة، يحدث طبخ للصخور السطحية، بالماغما المتداخلة. وفي هذه البيئة، العالية الحرارة، المنخفضة الضغط، تكون الحدود، بين الصخور النارية الجوفية، المتبلورة من الماغما، والصخور المتحولة بحرارة الماغما ـ واضحة جداً. إذ تزداد درجة الحرارة بازدياد التوغل في القشرة الأرضية، بمعدل 30 درجة مئوية في كل كيلومتر، فإن الصخور، التي تكونت على السطح، قد تتعرض لحرارة عالية، عندما تتوغل في الأرض بأعماقا كبيرة.

2-عامل الضغط : ينقسم الضغط، الذي يؤدي لتحول الصخور، إلى نوعين، هما: الضغط الليتوستاتيكي، والضغط الإجهادي الموجه.

أ- الضغط الليتوستاتيكي: الضغط الليتوستاتيكي، هو الضغط، الذي يكون مستوياً، في جميع الاتجاهات. وقد سمي هيدروستاتيكياً، لأنه النوع الوحيد من الضغط، الذي يمكن أن يوجد في السوائل. وهو ينشأ عن دفن الصخور في أعماق مختلفة، في القشرة الأرضية؛ ويزداد بازدياد تلك الأعماق. لذلك، يعرف الضغط الليتوستاتيكي، وعندما يكون الصخر مسامياً، أو فيه فراغات من أي نوع، كالشقوق والصدوع، مثلاً، فالمسامات والفراغات في الصخور ستتقلص، وقد تكون مملوءة بالغازات و/أو السوائل؛ والضغط الواقع على هذه الموائع، قد يختلف اختلافاً كثيراً، عن الضغط الواقع على الأجزاء الصلبة من الصخر. فعندما يكون الصخر، المدفون تحت عمق في القشرة الأرضية، متصلاً بالسطح، من خلال صدع، مثلاً؛ فإن ضغط الموائع، يكون أقل كثيراً من ضغط الحمل. أما إذا كان محبوساً تماماً، كأن يكون بين طبقتين من الغضار، مثلاً، فإن ضغط الموائع، قد يكون أكبر من ضغط الحمل.

ب- ضغط الإجهاد: ضغط الإجهاد، أو ما يعرف، أحياناً، باسم الضغط الموجه والتكتوني. هو الضغط، الذي يعمل في اتجاه واحد، دون الاتجاهات الأخرى. وهو العامل الأساسي في تشوه الصخور كما أن له تأثيراً كبيراً في تبلور أنواع معينة من الفلزات، في الصخور المتحولة، مثل: الكلورايت والميكا.

أنواع التحول:

يقسم التحول، حسب البيئات، التي يتحقق فيها، إلى أنواع أربعة، هي:

1- التحول التهشمي: يحدث التحول التهشمي، تحت ضغط موجه كبير، قرب السطح، حيث الضغط الليتوستاتيكي، والحرارة، منخفضين؛ فيؤديان تهشم الصخور وطحنها، من دون تكون فلزات جديدة.

2-التحول الحراري: ولا يكون هذا النوع من التحول واسع النطاق، إنما ينحصر في مئات من الأمتار، من سطح التماس مع التداخلات النارية. وعامل التحول، هنا، هو الحرارة الصادرة عن التداخلات النارية. وينتج عنه في معظم الحالات تكوين فلزات جديدة في الصخور المتحولة تعرف باسم الفلزات المتحولة بالحرارة. وتوجد هذه الفلزات في الأمكان القريبة أو المتماسة مع الصخر الناري. ونسيج الصخور المتحولة بالحرارة نسيج حبيبي (البلورات متدخلة وموزعة بدون ترتيب معين). وتتوقف كمية ونوع التحول في الصخر على حجم الجسم الناري وعلى التركيب الكيميائية والخواص الفيزيائية للصخر المحيط بهذا الجسم الناري. فمثلا يتحول الصخر الرملي إلى صخر الكوارتزيت. ومن أهم أمثلة التغيرات والتحولات الحرارية التي تنتج في الصخور التحول الحراري للصخر الكلسي. فعندما يتحول الصخر الكلسي النقي بالحرارة فإنه يتبلور من جديد ويكون صخر الرخام.

3-التحول الإقليمي: التحول الإقليمي، هو أكثر أنواع التحول انتشاراً وتنوعاً؛ إذ إن الصخور المتحولة، الناتجة من التحول الإقليمي، تشكل مساحات شاسعة في أحزمة جبال الطي المتكشفة على السطح بفعل التعرية. وقد استدل من الدراسات، الحقلية والبتروغرافية، على أن هذا النوع من التحول، ينجم عن كل من الحرارة العالية، والضغط الليتوستاتيكي، والضغط الموجه؛ وذلك بدرجات متفاوتة. فالعامل الأساسي في التحول الإقليمي، يكون الحرارة حيناً، والضغط الليتوستاتيكي أو الموجه حيناً آخر. وعملية التحول هذه قد تصل في تغييرها إلى درجة تزيل معها معالم الصخر الأصلي إزالة تامة. من الفلزات التي تتكون تحت ظروف من الحرارة والضغط المنخفضين المسكوفيت والكلوريت والكوارتز والبيوتيت، أما الكيانيت Kyanite (Al2SiO5) ، والسيليمانيت Sillimanite (Al2SiO8) والجارنت والأوليغوكلاز فإنها تتكون في ظروف من الحرارة والضغط الشديدين.

4- التحول الطمري: يحدث هذا النوع من التحول، في أحواض الترسيب العميقة، التي يصل سمك صخورها الرسوبية إلى عدة آلاف من الأمتار، ما يزيد من درجة الحرارة والضغط، تدريجاً، مع العمق. وتوجد أحواض الترسيب العميقة، عادة، على الحافات النشطة لصفائح القشرة الأرضية، الناتجة من انغراز صفيحة تحت أخرى؛ ما يكون الأخاديد العميقة.

التركيب الكيميائي والفلزي للصخور المتحولة: <u>يتصف التركيب الفلزي للصخور المتحولة</u>

<u>بـ:</u> 1-تدخل فلزات الصخور النارية في تركيب الصخر المتحول: الكوارتز- الاورتوكلاز- البلاجيوكلاز-البيروكسين- المسكوفيت.

2- يدخل الكالسيت فقط، المميز للصخور الرسوبية، في تركيب الصخور المتحولة. أما بقية الفلزات الرسوبية فتكون غير ثابتة في عملية التحول.

3-تتشكل فلزات جديدة مميزة للصخر المتحول مثل الغرينا والأندالوزيت والديستين والسيليمانيت والتالك. هذه الفلزات هي التي تحدد الظروف الترموديناميكية للصخر المتحول أو سحنة التحول.

تصنيف الصخور المتحولة:

1-حسب المنشأ:

تماسي- هيدروترمالي- اقليمي- ديناميكي

2-حسب شدة التحول/ مناطق التحول:

منطقة عليا Epi-zone

منطقة وسطى Meso-zone

منطقة داخلية Kata-zone

3-حسب سحنة التحول: سحنات تحول إقليمي - سحنات تحول تماسي

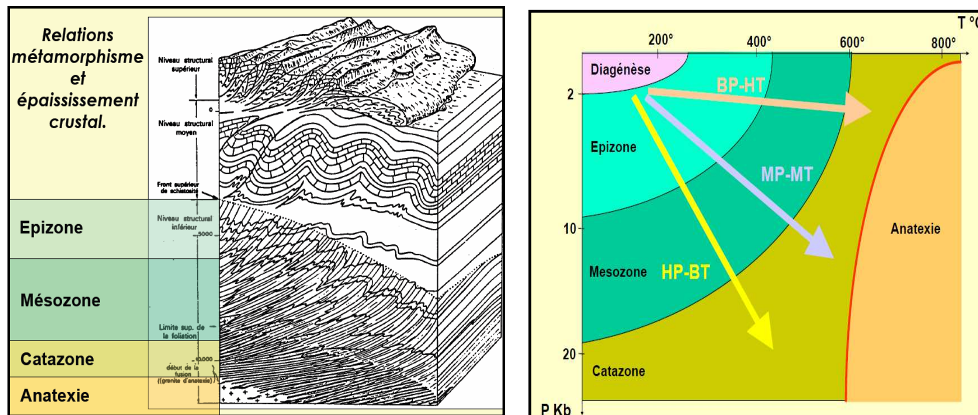
حسب شدة التحول/ مناطق التحول:

تقسم الصخور المتحولة بالحرارة والضغط إلى نطاقات Zones عريضة تضم كل منها مجموعة من الفلزات تكونت في ظروف واحدة من شدة التحول (منخفضة – متوسطة – عالية).

منطقة عليا Epi-zone/ شدة تحول منخفضة. بداية التحول، تحطيم للصخر (بريشيا تكتونية)، إعادة تبلور مع الإحتفاظ بالشكل الأولي للصخر. مثال تحول الرمال إلى صخر رملي كوارتزي.

منطقة وسطى Meso-zone / شدة تحول متوسطة. تحول قريب من التام، إعادة تبلور كاملة، زوال البنية والنسيج الأولي للصخر، تشكل نسيج شيستوى، تشكل فلزات جديدة غير موجودة سابقا، مثال اتحاد الكالسيت والكوارتز لاعطاء فلز جديد هو الغولاستونيت CaSio3

منطقة داخلية Kata-zone / شدة تحول عالية. تحول تام وشديد يصعب من خلاله معرفة الصخر الأولي الذي تحول. يتشكل هنا الإيكلوجيت



حسب سحنة التحول: يعبر عنها بمجموعة الفلزات التي وصلت لمرحلة التوازن أثناء التحول عند شروط محددة من الضغط والحرارة. والسحنات هي:



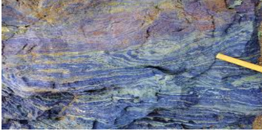
سحنة الشيست الأخضر: تمثل تحول منخفض الحرارة- متوسط الضغط. تحوي الباراجنيز الفلزية التالية: كالسيت- كلوريت-كوارتز- أو كوارتز-ألبيت-مسكوفيت- أو مسكوفيت-كلوريت-أكتينوليت.



سحنة الامفيبوليت: تميز درجة التحول المتوسطة، حرارة بين 450-700 درجة مئوية وضغط عالي. يتشكل فيها فلزات مثل: الغرانات والديستين والميكا و الهورنبلاند . من صخورها الامفيبوليت والغنايس والرخام



سحنة الغرانوليت: تميز درجة التحول العليا، حرارة عالية تتجاوز الـ 700 درجة وضغط عالي. سحنة جافة لا تحوي فلزات هيدوكسيلية. من فلزاتها: بيروكسين– غرانات- أورتوكلاز-كوارتز- هورنبلاند- ميكا البيروب و الأمادين و السبينيل والأوليفين. صخورها الإيكلوجيت



سحنة الشيست الأزرق: حرارة منخفضة وضغط عالي جداً. من فلزاتها: غلوكوفان (الأمفيبول الأزرق)– غرانات- أيبيدوت-كوارتز.



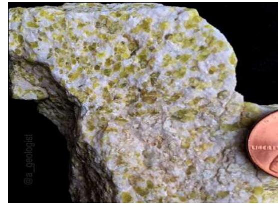
سحنة الايكلوجيت: حرارة عالية تتجاوز الـ 1000 درجة وضغط عالي جداً. من فلزاتها: بيروكسين – غرانات- روتيل- بلاجيوكلاز

وفيما يلي وصف مختصر للأنواع الشائعة من الصخور المتحولة:

من أنواع الصخور المتحولة/ التحول التماسي:

الهورنفلس Hornfles: يطلق هذا الاسم على الصخر المتحول الناتج عن التحول الحراري للصخور الغضارية. ومعظم الفلزات المكونة لهذا الصخر دقيقة الحبيبات ولا يمكن تمييزها إلا بواسطة الميكروسكوب المستطقب. والهورنلفلس لونه رمادي ويتكون من فلزات الفلسبار والبيوتيت وفلزات أخرى حديدو – مغنيسية متحولة، وأغلب صخور الهورنفلس لها نسيج حبيبي متساوي، ولكن هناك بعض الصخور التي تتكون أرضيتها من فلزات حبيبية (مثل السكر) وموزع فهيا بلورات كبيرة. وتعرف البلورات الكبيرة في مثل هذه الصخور المتحولة باسم بورفيروبلاس Porphyroblast

السكارن: صخور تماسية تتشكل من تفاعل الصخور الكربوناتية مع الصخور الألومينوسيليكاتية مع وجود محاليل مغماتية وابخرة حارة. نميز هنا سكارن مغنيزي ناتج عن استعاضة تماسية في صخور الدولوميت وسكارن كلسي عند الاستعاضة في الصخور الكلسية.





من أنواع الصخور المتحولة/ التحول الديناميكي:

البريشيا التكتونية: قطع زاوية الشكل من صخور أولية ملتحمة بمواد تحطيم ناعمة. يغيب التطبق في هذه الصخور.

الميلونيت: مواد صخرية مسحوقة بشدة هائلة. بنيتها ناعمة جداً أو بورفيرية ونسيجها شيستوي، يدخل عدة فلزات متحولة فيها نتيجة اعادة التبلور مثل الكلوريت و الايبيدوت...

من أنواع الصخور المتحولة/ التحول الاقليمي:

الاردواز: صخر متحول ذو لون رمادي داكن ينتج عن التحول الضغطي للصخور الغضارية، لها نسيج حبيبي دقيق، ولكن الصخر يتميز بوجود خاصية التشقق الصخري فيه، أي أنه يتشقق

بسهولة، وينتج عن هذا التشقق الاردوازي صفائح وألواح رقيقة وكبيرة المساحة وقد يحدث هذا التشقق الاردوازي موازيا لمستوى الطبقات في صخر الغضار الأصلي وقد لا يوازيها. وصخر الأردواز من الصخور الشائعة.

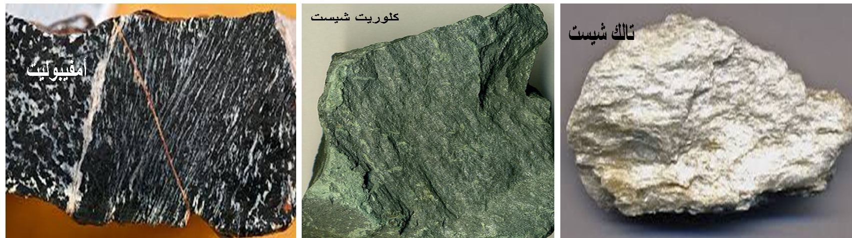
الفيلليت: صخر غضاري متحول بدرجة عالية ، مبلورة وناعمة التورق، يدخل فيها فلز السيريسيت و الكوارتز و الكلوريت والبيوتيت والصفاح.

الشست Schist :الشست صخر متحول بالضغط والحرارة له نسيج مميز يعرف باسم النسيج الشستي عبارة عن حبيبات دقيقة أو متوسطة توجد بين صفائح متقاربة ومتوازية تقريبا، وتتكون الصفائح من فلزات الميكا المختلفة، والصخر ينفصل بسهولة عند هذه الصفائح. وهناك أنواع كثيرة من الشست يطلق عليها أسماء مختلفة أهما الميكا شست Mica schist الذي يتكون بصفة اساسية من فلزات الكوارتز والميكا (عادة المسكوفيت أو البيوتيت). وتظهر الميكا بوضوح في الصخر مكونة صفائح كتلية أو ورقية أو مرتبة بحيث توجد جميع مستويات انفصامها موازية لبعضها مما يجعل الصخر يبدو في هيئة صفائحية مميزة. ويوجد عادة بجانب الميكا والكوارتز فلزات أخرى إضافية مثل الجارنت، ستوروليت، كيانيت، سليمانيت، أندلوسيت، ابيدوت، هورنبلند، تلك، كلوريت، الأمر الذي يجعل الصخر يسمى باسم شست جارنيتي، وشست ستوروليتي، وشست كيانيتي .. الخ تبعا لنوع الفلز الإضافي المميز، والشست إما أن يكون متحولا عن صخر ناري أو صخر رسوبي.

الشيست كلوريت: صخر شيستوي مكون من الكلوريت بشكل رئيسي والميكا والايبيدوت، لون أخضر.

التالك شيست: تالك ذو وريقات ينتج عن تحول صخور أساسية وسربنتين في التحول هيدروترمالي.

أمفيبوليت: صخر شيستوي كثيف متراص، مكون من الهورنبلاند اساسياً، ويحوي الايبيدوت والكوارتز. يتشكل من تحول الصخور الأساسية والمتوسطة الحموضة، يكون على شكل عروق في الغالب.



الكوارتزيت Quartzite: وهو صخر حبيبي كثيف ذو نسيج كتلي مكون بشكل أساسي من الكوارتز وينتج هذا الصخر من التحول الحراري للصخر الرملي، وفي هذا الصخر تلتحم حبيبات الكوراتز بعضها ببعض بواسطة السليكا التي ترسبت بين الحبيبات وفي مسام الصخر الأصلي وينتج عن ذلك أن يكون الصخر المتحول صلدا جدا فهو صخر متين وقاسي مقاوم للتعرية، وإذا كسر فإنه ينكسر عبر حبيبات الكوراتز، وبذلك يمكن تمييزه عن الصخر الرملي حيث يحدث المكسر حول حبيبات الرمل، والكوارتزيت لا يتفاعل مع حامض الهيدروكلوريك.

الرخام Marble : الرخام صخر متحول عن صخر كلسي، وهو صخر وحيد الفلز هو الكالسيت (صخر متبلور مكون من حبيبات الكالسيت بصفة عامة ولكن في بعض الأحيان قد يتكون من الدولوميت). والحبيبات المكونة للرخام قد تكون صغيرة جدا لدرجة لا يمكن تمييزها بالعين

المجردة. وقد تكون كبيرة خشنة حتى أن يمكن تمييز انفصام الكالسيت بسهولة، ويشبه الرخام الصخر الكلسي في صلادته المنخفضة وفي تفاعله مع حامض الهيدروكلوريك وحدوث فوران. والرخام لونه أبيض إذا كان نقيا خاليا من الشوائب ولكنه قد يبدو في ألوان متباينة (الإحمرار أو الخضرة، أو الرصاصي أو ما يقرب من السواد) لاحتوائه على شوائب مختلفة. ينتج الرخام عن دفن الصخور الكلسية على أعماق كبيرة.. حيث الحرارة والضغط العاليين.. مما يسهم في إعادة تبلور الصخر وتحولها لحبات خشنة من الكالسيت ويعطي الصخر مظهراً كتلياً. كما ينتج الرخام عن التحول التماسي للصخر الكلسية.

الغنيس Gneiss : الغنيس صخر متحول به نسيج متبلور خشن إلا أن بلورات الفلزات المختلفة مرتبة في صفوف متوازية. فمثلا في بعض الأنواع توجد طبقات أو صفوف من الميكا السوداء وبينها توجد صفوف أخرى من فلز الكوارتز والفلسبار. وتكون هذه الصفوف عادة متقطعة (يتناوب فيه شرائط فاتحة اللون مع شرائط عاتمة)، أي ليست متصلة ومستمرة كما هو الحال في الشست، ونرى في هذا النوع أن تركيبه الفلزي مماثل للتركيب الفلزي لصخر الغرانيت ولذلك يسمى الغنيس الغرانيتي نسبة إلى أن أصله. يعتقد انه ناتج عن تورق الغرانيت. بعتبر الغنايس مرحلة انتقالية بين الغرانيت والميغماتيت. فالغرانيت تحول بفعل الضغط والحرارة إلى غنيس. وهناك أنواع أخرى من الغنيس بعضها أصله ناري والبعض الآخر أصله رسوبي. وقد يسمى الغنيس حسب تركيبه الفلزي مثل الغنيس البيوتيتي والغنيس الهورنلبندي الذي يدل على أن الصخر غني بفلز اليوتيت أو الهورنبلند ... الخ. وتعتبر صخور الغنيس أكثر الصخور المتحولة انتشارا في القشرة الأرضية ويليها صخور الشست.



ايكلوجيت: صخر نادر، يتشكل عميقاً داخل الأرض ، يتكون من البيروكسين الأخضر و الغرانات البنية، ناتج عن تحول الصخور الأساسية وفوق الأساسية تحت ضغوط عالية ووسط جاف

